



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université M'hamed Bougara de Boumerdès

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département : maintenance industrielle

Option : Génie électrique.

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en Signal et Communication.

Thème

***Extraction des paramètres physiques à partir des
images RADAR et SATELLITE MSG.***

Réalisé par :

Mlle. Kichni Hadjer

Mlle. Mezbeche Zahia

Promotrice : S. Massout

Encadreur : A.Rezagui

Promotion 2016

Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH de nous avoir donné la volonté pour préparer ce travail.

Notre gratitude et notre reconnaissance que nous saurions suffisamment exprimer vont d'abord à notre encadreur monsieur A. RAZAGUI qui nous a proposé suivi, dirigé et encouragé pour finir ce travail avec une très grande générosité, qu'il trouve ici l'expression de nos meilleures salutations.

Nous tenons à remercier à notre promotrice M S. MASSOUT.

Nous tenons à remercier aussi Mr M.Benamara « chef de division numérique du temps », Mr N.Kessali « chef de service météorologie marine » et Mr H.Chegroun « Chef de division des instruments » pour nous avoir acceptés au sein CNPM à L'ONM, pour le soutien moral et pour toute sa gentillesse et sa serviabilité

Nos remerciements vont aussi :

Les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et juger notre travail.

Nous voudrions aussi exprimer notre vive reconnaissance envers tous les enseignants de département génie électrique ainsi que tous ceux qui ont participé à notre formation.

Nous adressons également nos sincères remerciements notre exemplaire Mr A.Benaissa « Allah yarahmo » qui n'a pas ménagé leurs efforts pour nous assurer une bonne formation.

Et aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à réaliser ce travail.

Dédicace

*Avec l'aide d'ALLAH le tout puissant on a pu achever ce
travail que je dédie*

*A mon père Rabah qui a attendu avec patience le fruit de sa
bonne éducation et m'avoir aidé avec leurs conseils et leur
soutien moral. A ma mère Malika le grand cœur sur la terre, en
espérant que dieu leur donne la santé.*

A mes sœurs Sarah, Meriem et Selma.

A mes frères Ali et Yousef.

Toute la famille : Kichni et Bouchiouani.

A ma chère binôme Zahia et toute sa famille Mezbeche.

*A tous mes amies : Drifa, Zahra, Sarah, Nabila,
Nadia, Safia, Fatiha, Hamida, Hassina, Asma, Ahlem,
Souhila.*

A tous ceux qui connait.

A ma promotion de GE -2016.

Hadjer

Dédicace

Avec l'aide d'ALLAH tout puissant on a pu achever ce mémoire

Je dédie à :

*Tous ceux qui sont donné toutes les peines et les sacrifices pour
me voir réussir dans la vie.*

*Les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père
MOHAMED et ma mère ZOËRA, qui m'ont apporté soutien
et confort tout au long de mes études.*

*Mes frères : Nacer « Allah yarahmo », Nour Din, Mourad,
Sofiane, Riad, Adel, Fouad et Hakim.*

Mes sœurs : Soumia « Allah yarhamha » et Noudjoum.

Et la famille Mezbeche.

Tous mes amis que j'aime et que j'estime.

Mes collègues du groupe MGE14.

Tous mes amis sans exception.

Mon binôme « Hadjer » et sa famille « Kichni »

*Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant
toutes mes années d'études.*

Zahia

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons présenté le traitement d'images de deux instruments météorologiques, dans le domaine de la télédétection. Premièrement nous avons parlé de RADAR météorologique (Sétif et Annaba) qu'est un outil d'investigation des basses couches de l'atmosphère. Le traitement d'images permet, d'une part, l'élimination d'échos RADAR pour obtenir une image nette (précipitations) et d'autre part, l'utilisation de la relation existante entre le facteur de réflectivité radar Z et le taux de précipitation R pour caractériser les champs de précipitations dans une région donnée et évaluer la quantité de pluie.

Deuxièmement, nous avons parlé de satellite Météosat second génération, et nous traité les canaux visible et infrarouge pour l'élaboration des cartographiques de certains paramètres physiques (température, réflectance, indice de végétation).

Nous avons utilisés des algorithmes de langage(C) pour le traitement d'image RADAR et satellitaire.

Abstract

In this study, we present the image processing of two essential instruments in remote sensing in meteorology. First we talk about weather RADAR (Annaba and Sétif) what an investigation of the lower layers of the atmosphere tool. On the one hand, eliminating RADAR echoes to obtain a clear image (precipitation). On the other hand, the relationship between the radar reflectivity factor Z and the precipitation rate R used to characterize the precipitation fields in a given area and assess the amount of rain.

Secondly, we speak of Meteosat second generation treat visible and infrared channels their use in the development of certain physical parameters (temperature, reflectance, vegetation index) in the cartographic map.

We use language algorithms (C) for the treatment of RADAR and satellite image.

Abréviations

ASI	: Alcatel Space Industries.
CNPM	: Centre National de la Prévision Météorologique.
CSK	: Centre Spatial de Kourou.
DAAG	: Aéroport international d'Alger - Houari Boumédiène.
DAAS	: Aéroport de Sétif - 8 Mai 1945.
DABB	: Aéroport d'Annaba –Rabah-Bitat.
DAOB	: Aéroport de Tiaret - Abdelhafid Boussouf Bou Chekif.
DAON	: Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj.
DAOR	: Aéroport de Béchar - Boudghene Ben Ali Lotfi.
DAOY	: Aéroport d'El Bayadh.
DCP	: Plateforme de Collection de Données.
EM	: Electromagnétique.
EPIC	: Entreprise Publique Industrielle et Commerciale.
ERS	: European Remote-Sensing.
ESSA	: Environmental Science Services Administration.
EUMETSAT	: Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques.
GERB	: Geostationary Earth Radiation Budget Experiment.
GOES	: Geostationary Operational Environmental Satellite.
GTS	: Global Telecommunication System.
HRIT	: High Rate Information Transmission.
HRV	: Haute Resolution Visible.
IR	: Infra-Red.
LASER	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
LIDAR	: Light Detection and Ranging.
LRIT	: Low Rate Information Transmission.
LRUS	: Low Rate User Station
METEOSAT	: Satellite Météorologique géostationnaire européen.
MCC	: Mission Control Center
MPEF	: Meteorological Product Extraction Facility.
MSG	: Meteosat Second Generation.
MSS	: Multi Spectral Scanner
NDVI	: Indice de Végétation.

NIR	: Near Infra-Red.
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration.
OACI	: Organisation de l'Aviation Civile Internationale.
OEM	: Ondes Electromagnétiques.
OMM	: Office Mondial de Météorologie.
ONM	: Office National de Météorologie.
PGS	: Station de sol
PPI	: Plan Position Indicator.
RADAR	: Radio Detection and Ranging.
RSO	: RADAR à Synthèse d'Ouverture.
REM	: Rayonnement Electromagnétique.
SANAGA	: Système d'Acquisition Numérique pour l'Analyse des Grains Africains
SAF	: Satellite Application Facility.
SEVIRI	: Spinning Enhanced Visible.
SPOT	: Système Probatoire d'Observation de la Terre.
SWIR	: Short-Wave Infra-Red.
TOARAD	: Top of Atmospher Radiance.
TU	: Time Unit.
UV	: Ultra Violets.
VIS	: Visible.
WV	: Water Vapour.
WT	: Wavelet Transform

Notations

- T : La période.
- F : Fréquence [KHz, MHz ou GHz].
- Λ : Longueur d'onde ou amplitude m, μm .
- c : Vitesse de la lumière [m/s].
- Δt : Temps mesuré [s].
- r : Distance [m].
- Pr : La puissance reçue par le RADAR.
- C : Le constant RADAR
- R : La distance de la cible.
- K : La constante diélectrique de la cible.
- Z : Le facteur de réflectivité mm^6/m^3 .
- D : Le diamètre des hydrométéores.
- n(D) : La distribution en taille des hydrométéores.
- R : Taux de précipitations exprimé en mm/h.
- f_{c0} : Le facteur correctif pour la maille RADAR M_0 .
- I_0 : L'intensité de pluie résultante en un point M_0 .
- Ti : La taille d'un fichier image Ti en octet.
- Tupload : La durée d'envoi d'un fichier [s].
- Upload : Vitesse d'envoi exprimé en bits.
- μy : La moyenne de la variable log-normale de R.
- σy : La variance de la variable log-normale de R.
- d_s : Distance entre le pixel et le RADAR sétif.
- d_A : Distance entre le pixel et le radar Annaba.
- Rad : La radiance spectrale $[\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}]$.
- Offset et slope : les coefficients de régression linéaire $[\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}]$
- Ti : La température de brillance en kelvin (k).
- V_c : La fréquence centrale du canal.
- θ : L'angle zénithal solaire.
- ESD : La distance Terre-Soleil (en unité Astronomique).
- TOARAD : L'énergie solaire en $(\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1})$.
- R(VIS) : La réflectance dans le canal visible [μm].
- R(NIR) : La réflectance dans le canal proche infrarouge [μm].

Sommaire

Introduction générale.....	1
Présentation de lieu de stage	3
Mission, rôles et obligations.....	3
Missions du CNPM	4

chapitre1:Généralités sur la télédétection

Introduction	5
1.1. Définition.....	5
1.2. Historique de la télédétection	6
1.3. Principe de base de la télédétection.....	7
1.3.1. Eléments fondamentaux	7
1.3.2. Processus de télédétection	8
1.4. Bases physiques de la télédétection.....	9
1.4.1. Rayonnement électromagnétique	9
1.4.2. Spectre électromagnétique.....	10
1.4.3. Rayonnement et la matière	12
1.4.4. Rayonnement électromagnétique et télédétection	13
1.5. Mesures de la télédétection	15
1.6. Domaines d'application de la télédétection.....	15
1.6.1. Application météorologie et climatologie	15
1.6.2. Application océanographie.....	16
1.6.3. Application terrestre	17
1.7. Vecteurs et capteurs.....	17
1.7.1. Vecteurs.....	17
1.7.1.1. Satellites géostationnaires	17
1.7.1.2. Satellites à défilements	18
1.7.2. Capteurs.....	18
1.7.2.1. Capteur passif.....	18
1.7.2.2. Capteur actif	19
Conclusion.....	20

chapitre2:Mesure par RADAR

Introduction	21
2.1. Prévision météorologique.....	21
2.1.1. Définition (Météorologie)	21

2.1.2.	Prévision météorologique.....	22
2.1.3.	Station météorologique.....	22
2.1.4.	Base de données	24
2.2.	RADAR.....	24
2.2.1.	Définition.....	24
2.2.2.	Réseau RADAR météorologique de l'ONM.....	24
2.2.3.	Composants d'un système RADAR	26
2.2.3.1.	Radôme.....	26
2.2.3.2.	Emetteur	26
2.2.3.3.	Duplexeur.....	27
2.2.3.4.	Antenne	27
2.2.3.5.	Récepteur.....	27
2.2.3.6.	Etage de traitement de signal.....	27
2.2.3.7.	Écran.....	27
2.2.4.	Fréquence de RADAR.....	28
2.2.5.	Principe de RADAR.....	28
2.2.6.	Fonctionnement d'un RADAR météorologique.....	29
2.2.7.	Calcul de la distance RADAR-Echo.....	30
2.2.8.	Principe de mesure RADAR	32
2.2.9.	Différentes Méthodes de Calibrage	35
2.2.9.1.	Calibrage par un réseau de pluviomètres.....	35
2.2.9.2.	Calibrage par la méthode climato - statistique	36
2.2.10.	Rôle de RADAR dans la chaîne de prévisions	37
2.2.11.	Types RADAR	38
2.2.11.1.	RADAR météorologique normal.....	38
2.2.11.2.	RADAR météorologique Doppler.....	38
2.2.11.2.1.	Effet Doppler.....	38
2.2.11.2.2.	RADAR Doppler	39
2.2.11.3.	RADAR conventionnel	40
2.2.12.	Source d'erreur de RADAR	40
2.2.13.	RADAR météorologique et recherche scientifique	40
	Conclusion.....	41
Chapitre3: Mesure par satellite		
	Introduction	42
3.1.	Satellite météorologie.....	42

3.1.1.	Définition.....	42
3.2.	Objectif de satellite météorologie.....	43
3.1.2.	Satellite Meteosat	43
3.2.	Nouvelle Génération de satellite Meteosat MSG	44
3.3.	Instruments des satellites MSG	45
3.3.1.	Radiomètre GERB.....	46
3.3.2.	Radiomètre SEVIRI.....	46
3.3.2.1.	Canaux visibles.....	48
3.3.2.2.	Canaux infrarouges.....	49
3.3.2.3.	Canaux vapeur d'eau	49
3.4.	Transmission des images MSG	50
3.5.	Variation de la résolution spatiale	52
3.6.	Images Météosat Seconde Génération.....	53
3.7.	Taille des images MSG	54
3.8.	Structure des fichiers LRIT/HRIT	55
3.8.1.	Transmission en LRIT	55
3.8.2.	Transmission en HRIT	55
3.9.	Compression des segments	56
3.10.	Temps d'envoi d'un fichier	57
3.11.	Compression des données Météosat	58
3.12.	Missions principales du système MSG.....	58
3.13.	Segment sol	60
	Conclusion.....	60

chapitre4:Traitement et exploitation des images RADAR et satellite MSG.

	Introduction	61
4.1.	Traitement et exploitation des images RADAR.....	61
4.1.1.	Format de l'image	61
4.1.2.	Affichage de l'image	61
4.1.3.	Echos parasites	63
4.1.4.	Masque global	65
4.1.5.	Images composites	69
4.2.	Traitement et exploitation des images MSG	71
4.2.1.	Image HRV.....	71
4.2.1.1.	Format de l'image.....	71
4.2.1.2.	Affichage de l'image	72

4.2.2.	Présentation cartographique (Canaux IR, VIS0.6, VIS0.8 et NIR).....	73
4.2.3.	Radiation mesurée par le radiomètre.....	74
4.2.4.	Extraction de paramètres physiques.....	74
4.2.4.1.	Conversion de la Radiance en températures de brillances.....	74
4.2.4.2.	Conversion de la radiance en réflectance spectrale pour les canaux (VIS0.6, VIS0.8, NIR1.6 et HRV).....	75
4.2.4.3.	Indice de végétation.....	79
	Conclusion.....	81
	Conclusion générale.....	82

Liste des figures :

Figure1. 1 : Processus de la télédétection.....	8
Figure1. 2 : Champs électromagnétique	10
Figure1. 3: Spectre électromagnétique.....	11
Figure1. 4 : Réflectance des différentes surfaces et leur caractérisation par les différents canaux des satellites.....	12
Figure1. 5 : Signature spectrale de quelques roches et minéraux.....	13
Figure1. 6:Utilisation du rayonnement électromagnétique en télédétection.	14
Figure1. 7: Capteur passif.	19
Figure1. 8: Capteur actif.....	20
Figure2.1: Systèmes observations météorologiques.....	22
Figure2.2: Réseau d'observation météorologique.....	23
Figure2.3:Le réseau des RADARs météorologiques de l'office national de la météorologie.....	25
Figure2. 4:Composants de RADAR.	26
Figure2. 5:Schéma de fonctionnement de RADAR météorologique.	30
Figure2. 6:Schéma synoptique d'un RADAR météorologique	31
Figure2. 7:Principe de mesure de RADAR météorologique.	34
Figure2.8:Le système mondial d'observation météorologique.	43
Figure2. 9: : Concept du satellite METEOSAT (source EUMETSAT [Eumet]).	44
Figure2. 10:Satellite MSG.....	45
Figure2. 11: Distribution du rayonnement dans les 12 canaux de SEVIRI.....	48
Figure2. 12:Images dans le canal visible HRV à droite et 0.6 μm à gauche.....	49
Figure2. 13:Image prise dans l'IR 10.8 μm	49
Figure2. 14:Images de canal vapeur d'eau 6.2 μm à gauche et 7.3 μm à droite.	50
Figure2. 15:Principe de prise l'image par le radiomètre SEVIRI.	51
Figure2. 16:Système de collecte et de diffusion de données MSG.	52
Figure2. 17 Résolution de l'image MSG en direction Nord-Sud.....	52
Figure2. 18 Carte de résolution de l'image MSG en direction Est-Ouest.....	53
Figure2. 19:Carte de fluctuation de taille des pixels pour MSG.	53
Figure2. 20:Structure d'un fichier image MSG LRIT/HRIT des 11 canaux SEVIRI.....	56
Figure3. 1: Image des échos RADAR d'Annaba.....	62
Figure3. 2:Image des échos RADAR Sétif.....	62
Figure3. 3: Image RADAR de Sétif et Annaba.....	63
Figure3. 4:Masque de l'écho fixe de Annaba.	65
Figure3. 5:Masque écho fixe Sétif.....	65
Figure3. 6:Masque global d'échos RADAR.	66
Figure3. 7:Méthode de choix de l'écho RADAR dans la zone.	67
Figure3. 8:Organigramme de traitement d'image RADAR.....	68
Figure3. 9:Image composite du 20/04/2016 à 09h00.	69
Figure3. 10:Image composite du 20/04/2016 à 18h00.	70
Figure3. 11:Image HRV à ciel nuageux.....	72

Figure3. 12: Image HRV à ciel clair	73
Figure3. 13:Modèle de transfert radiatif soleil-pixel-satellite.....	75
Figure3. 14:Organigramme de température de brillance.....	77
Figure3. 15 : La température de l'Algérie 30/04/2016.....	78
Figure3. 16:Organigramme de l'indice de végétation.....	79
Figure3. 17:configuration spatiale de l'NDVI calculé à partir MSG pour :a)le mois mai et b) juin.	80

Liste des tableaux

Tableau2. 1 : Coordonnées des RADARs météorologiques de l'ONM.	25
Tableau2. 2 : Différents gammes de RADAR.	28
Tableau2. 3: Comparaison graphique de l'intensité des échos radar selon la précipitation.	34
Tableau2. 4: Caractéristiques de radiomètre SEVIRI.	47
Tableau2. 5: Principales caractéristiques des images MSG.	54
Tableau3. 1 : 1 Correspondance niveau de réflectivité valeurs en dbz.	62
Tableau3. 2: Longueur d'onde centrale et les paramètres A et B pour les huit canaux thermiques IR SEVIRI de MSG.	75

Introduction générale

La connaissance de l'atmosphère a toujours été et restera la préoccupation de la communauté scientifique surtout à notre époque où d'importants bouleversements sont observés. En outre, beaucoup de domaines comme l'agriculture, la navigation, l'aéronautique, le génie civil et bien d'autre ont besoin des données très précises sur l'état de l'atmosphère que nous appelons la météorologie. Cette dernière peut s'exprimer par la combinaison de diverses grandeurs physiques, telles que la température, l'humidité de l'air, le vent, la pression, le rayonnement solaire et les précipitations. Ces grandeurs caractérisent tout à fait l'atmosphère. Elles sont mesurées à l'aide d'instruments météorologiques dont on cherche constamment à améliorer les performances.

Aujourd'hui, les systèmes de mesures très sophistiqués sont mis au point. Ils permettent l'acquisition à distance et en temps réel. De plus, ces systèmes facilitent l'archivage des données (mesures météorologiques).

La technique utilisée pour obtenir toutes les informations sur l'objet, c'est la télédétection qu'est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et des images obtenues à l'aide de plateformes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes.

Les données de la télédétection correspondent à des mesures intégrées sur une échelle spatiale (pixel) de certains caractères de la surface observée (luminance, température apparente, coefficient de rétrodiffusion). Il s'agit donc d'un autre type de données qu'il convient de calibrer et de transformer en variables utiles pour les modèles : albédo, température de surface,

L'objectif de notre travail est d'étudier les instruments météorologiques qui permettent d'améliorer la performance de traitement des images issues :

Le RADAR (RADio Detection And Ranging) permet de détecter quelles que soient les conditions météorologiques (nuages, pluie, ...) et temporelles (jour-nuit).

Les satellites météorologiques ont été lancés au début pour l'observation et le suivi de développement des masses nuageuses, les résultats obtenus avec les satellites orbitaux concernant les variations des moyennes saisonnières du bilan d'échange global du système sol-atmosphère ont encouragé beaucoup de chercheurs à utiliser les satellites géostationnaires pour l'étude du bilan radiatif.

La mission principale des satellites météorologiques est le recueil de données utilisées pour la

Introduction générale

surveillance du temps et du climat de la Terre. Chaque nouvelle génération de satellite comporte des capteurs plus performants et capables d'effectuer des mesures sur un plus grand nombre de canaux ce qui permet de les utiliser pour différencier les divers phénomènes météorologiques tels que les nuages, les précipitations, les vents, brouillard, etc.

Notre travail a consisté à faire une étude sur les instruments météorologiques en Algérie, qui sont le RADAR météorologique et le satellite second génération MSG.

Plusieurs méthodes de traitement sont utilisées pour mieux exploiter les images issues de ces deux instruments. Chacune ayant ses avantages et ses limitations. Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé le langage C, pour la modélisation et la prévision des données météorologiques.

Ce travail est structuré de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous donnerons quelques généralités sur la télédétection, sur leurs histoires, le processus d'acquisition de données en télédétection. Nous terminerons ce chapitre par quelques exemples des domaines d'application de la télédétection.
- Le deuxième chapitre, nous sera consacrer à la présentation de l'instrument de mesure "RADAR". Nous expliquons leur fonctionnement, le calibrage, leur rôle dans la chaîne de prévision et les sources d'erreurs de RADAR.
- Le troisième chapitre, nous présentons le satellite Météosat second génération MSG, les instruments, transmissions des images MSG et leurs missions principales.
- Le quatrième chapitre, nous traitons des images RADAR et satellite MSG pour plusieurs utilisations.

Finalement, une conclusion finale qui terminera ce travail.

Présentation de lieu de stage

L'office national de la métrologie, placé sous la tutelle du ministère des transports, est l'élément essentiel de la mise en œuvre de la politique nationale et internationale en matière de métrologie.

Issu de la restructuration de l'ENEMA (Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique), l'ONM (Office National de Météorologie) est créé par ordonnance N°75-25 du 29 avril 1975 en tant qu'établissement publique à caractère administratif et transformé par le décret N°98-258 du 25 août 1998 en entreprise publique industrielle et commerciale (EPIC) à vocation scientifique et technique.

L'ONM est implanté à travers tout le pays, son organigramme comprend:

- 4 directions centrales fonctionnelles,
- 4 directions centrales opérationnelles,
- 6 directions régionales.

La ressource humaine d'un effectif global de 1200 agents dont 65% représentant le corps technique d'ingénieurs et de techniciens, constitue l'élément moteur de l'ONM.

En matière d'équipement, l'ONM est doté:

- Moyens de réception satellite,
- Moyens de traitement informatique,
- Système de télécommunication métrologique,
- Capacités d'analyse et de prévision métrologique,
- Banque de données climatologique.

Mission, rôles et obligations

Dans le cadre de sa mission, l'ONM a pour objet d'assurer:

- ✓ L'acquisition, le traitement, l'exploitation et la diffusion des données météorologiques nationales et internationales.
- ✓ L'installation, la gestion et la maintenance des différents réseaux d'observations météorologiques et climatologiques nationaux ainsi que le réseau des télécommunications météorologiques propres à l'office.
- ✓ La prévision de l'évolution du temps sur le territoire national ainsi que le lancement des avis d'alerte auprès du public et des utilisateurs
- ✓ La conservation des archives météorologiques et climatologiques et leur exploitation.
- ✓ La réalisation d'étude climatologiques et d'assistance météorologique.
- ✓ La surveillance des changements climatiques

Organisme d'accueil

- ✓ La fourniture des prestations des services techniques, d'étalonnage des instruments et équipements météorologique.

Missions du CNPM

-Il est chargé de l'analyse et de la prévision à l'échelle nationale et régionale ainsi que l'assistance aux usagers en temps réel.

-Sécurité publique par l'émission de bulletins d'alerte.

-Assistance au secteur socio-économique (aéronautique, Marine, Agriculture...).

-Média (TV, Radio, Presse...)

Il est également de contribuer au développement de la prévision numérique du temps.

Dans le CNPM on trouve une salle de briefing ou on se réunit pour étudier la situation météorologique, une salle pour la préparation et la sortie du produit (les prévisions) et une salle pour la transformation des prévisions sous forme compréhensible par l'utilisateur exemple la télévision.

Dans le CNPM L'interprétation des sorties de modèle est faite sur Messir-Vision doté d'un logiciel graphique permettant la visualisation des champs du modèle utilisé au niveau du Centre d'Alger. Les inputs des modèles sont les observations et les sorties représentent les prévisions.

Il existe plusieurs modèles parmi eux on trouve : Arpège, Dalam, Aladin, Eta ...etc.

Introduction

Depuis les dernières décennies, l'homme a cherché à étudier tous les changements autour de lui à distance ou à proximité. La détection à proximité est facile à l'étude par rapport à distance qui besoin des moyens de faciliter l'accès à l'information par exemple les ballons, fusées, avions, hélicoptères, drones, satellites, navettes spatiales.

Dans ce chapitre, nous allons parler d'une technique qui fait l'attache entre l'homme et l'objectif à étudier. C'est la « Télédétection ».

La télédétection est utilisée de manière croissante dans différents domaines. Des dizaines de satellites d'observation de la Terre sont en orbite et fournissent en permanence des milliers d'images pour des applications militaires mais aussi de plus en plus pour des applications civiles telles que la gestion des ressources naturelles, la climatologie, l'océanographie, la géographie ou la cartographie ...etc. Alors de quoi s'agit-t-il ?

1.1. Définition

Le mot télédétection en anglais est « remote sensing », Télé signifie « à distance » et détection veut dire « découvrir » ou « déceler ». Le néologisme « remote sensing » fait son apparition aux Etats-Unis dans les années soixante, lorsque des capteurs nouveaux viennent pour compléter la traditionnelle photographie aérienne.

La définition de la télédétection du dictionnaire des termes normalisés des sciences et techniques est la suivante : Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Selon cette définition très vaste, la télédétection peut se pratiquer de la surface de la Terre vers l'atmosphère ou vers l'espace, comme de l'espace vers la Terre, et l'astronomie utilise largement la télédétection.

D'autre façon, la télédétection est un ensemble de technique destiné à l'étude soit de la surface de la terre ou d'autre planète, soit l'atmosphère. La télédétection est une technique d'observation de la terre basée sur la mesure des interactions entre la surface terrestre et les ondes du champ électromagnétique; c'est- à- dire que la télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information [1].

La télédétection a pour objectif de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations [2].

1.2. Historique de la télédétection

L'histoire de la télédétection peut se décomposer en plusieurs histoires plus ou moins indépendantes:

- a) Les capteurs.
- b) Les porteurs.
- c) Les applications informatiques.
- d) Les moyens de traitement.

a)-Histoire des capteurs

Le premier capteur utilisé en télédétection est la chambre photographique qui a été destiné à la mesure des formes du terrain. Il a été installé de façon fixe à bord d'un ballon en 1856. Ensuite, les caméras thermiques permettent de mesurer la température de surface dans des bandes infrarouges (3-5 microns et 8-14microns) puis les radars imageurs permettent d'observer par tout temps (de jour comme de nuit et indépendamment des conditions météorologiques).

b)-Histoire des porteurs

En 1855 l'avion (le ballon ou le drone) reste le porteur le plus répandu à la télédétection. Depuis le début 1960, des capteurs de télédétection sont embarqués sur des satellites artificiels en orbite autour de la Terre, couvrant un vaste de l'altitude :

- ✓ Orbites très basses (200 à 400 km): missions de courte durée,
- ✓ Orbites de 500 à 1500 km, polaires les plus utilisées en observation de la Terre par exemple SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), ERS (European Remote-Sensing), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).
- ✓ Orbite géostationnaire, utilisée par des satellites météorologiques comme Meteosat (européen) ou GOES américain (Geostationary Operational Environmental Satellite).

c)-Applications informatiques

Avant la seconde guerre mondiale: les deux applications motrices pour les techniques d'observation à distance ont toujours été l'astronomie et le renseignement militaire. Après

la seconde guerre mondiale, toutes les applications de la télédétection bénéficient de programmes réguliers et systématiques d'acquisitions par avion.

Plus récemment, les images RADAR et les thermographies détectent à leur tour des informations inaccessibles jusque-là pour la géologie, la surveillance de la pollution, la prévention des catastrophes naturelles et industrielles.

La première application opérationnelle de la télédétection spatiale apparaît dans les années soixante avec les satellites météorologiques de la série ESSA (Environmental Science Services Administration).

d)-Histoire des moyens de traitement

La diffusion des données sur une base commerciale, envisagée dès le lancement du programme SPOT en 1986, se traduit aujourd'hui par le lancement de satellites de la télédétection par des sociétés privées. Les données de télédétection deviennent l'objet d'un marché concurrentiel. La diffusion accélérée et l'augmentation de la puissance des ordinateurs contribuent de façon continue à promouvoir de nouvelles méthodes d'utilisation des données toujours plus abondantes que fournit la télédétection spatiale

Les deux principaux axes de développement récent sont:

- ✓ Les algorithmes d'analyse de scène (appariement stéréoscopique, reconnaissance des formes et des textures, classification,...)
- ✓ Les interfaces graphiques de plus en plus conviviales pour l'affichage et le traitement interactif des images [3].

1.3. Principe de base de la télédétection

1.3.1. Eléments fondamentaux

La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur. Ainsi, l'œil est un excellent dispositif de télédétection; il joue le rôle d'un vecteur qui estime la quantité et la nature d'énergie de la lumière visible réfléchie, produite par une source externe (soleil, projecteur, ..), et en déduit des informations à propos de notre environnement (cible).

Le principe de base de la télédétection est analogue à celui de la vision de l'homme :

- **La cible:** étant la portion de la surface terrestre observée par le satellite, et dont la taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- **La source d'énergie:** l'élément qui "éclaire" la cible d'une onde électromagnétique (flux de photons).

Il représente généralement du soleil, ou de l'énergie solaire stockée et réémise par la cible (considérée - dans ce cas- comme source d'énergie) sous forme de chaleur (infrarouge thermique). Dans les deux cas, le satellite ne fait que capter le rayonnement réfléchi, on parle de télédétection passive. Toutefois, la technologie RADAR (Radio Detection and Ranging) nécessite qu'un émetteur soit embarqué sur le satellite, ce dernier émet une onde vers la cible et en mesure l'écho, il devient lui-même source d'énergie, on parle alors de télédétection active.

- Le **vecteur** ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, puis un émetteur renvoie l'image vers des systèmes de collecte et analyse de données. Le vecteur peut-être un satellite ou un avion, dominant la cible de quelques centaines de mètres à 36 000 kilomètres.

1.3.2. Processus de télédétection

L'observation de la terre par les satellites peut être décomposée en sept étapes ou processus depuis la source d'énergie qui éclaire la surface terrestre jusqu'à la dernière étape qui consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible (Figure1.1).

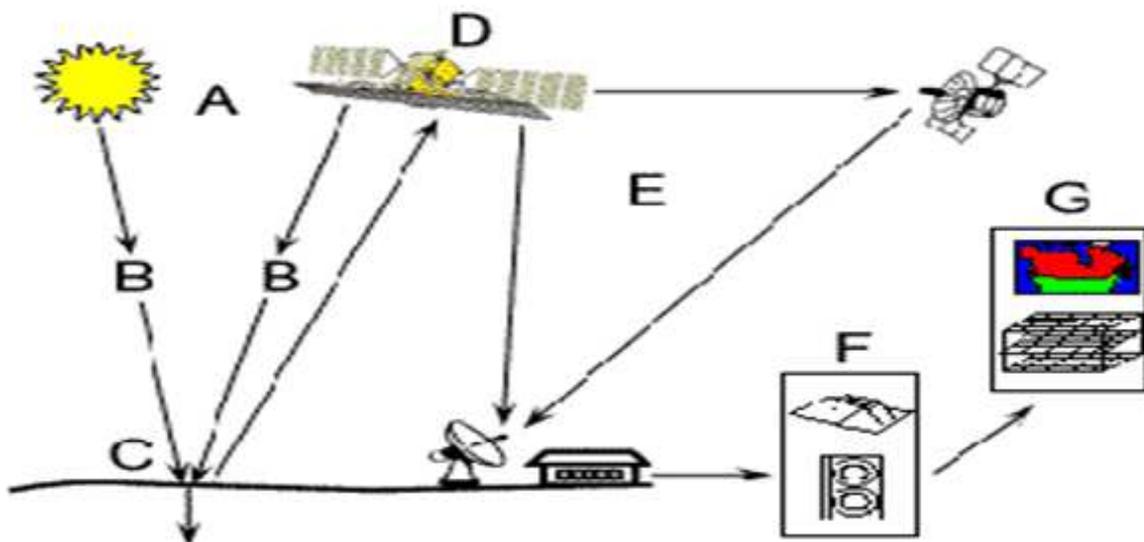


Figure1. 1 : Processus de la télédétection.

- 1. Source d'énergie ou d'illumination (A) :** À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- 2. Rayonnement et atmosphère (B) :** Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
- 3. Interaction avec la cible (C) :** Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.
- 4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) :** Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en relie avec la cible) pour être enfin enregistrée.
- 5. Transmission, réception et traitement (E) :** L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- 6. Interprétation et analyse (F) :** Une interprétation visuelle ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- 7. Application (G) :** La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier [4].

1.4. Bases physiques de la télédétection

Quel que soit le domaine d'application considéré, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des propriétés du rayonnement électromagnétique et principes physiques sur lesquels sont fondés la technique de télédétection.

1.4.1. Rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature, dont la forme la plus familière est la lumière visible telle que la perçoit l'œil humain. Le rayonnement est reconnu par les physiciens comme un phénomène ondulatoire, en relation avec l'électricité et le magnétisme. Ainsi, une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique (figure1.2).

Les caractéristiques d'une onde électromagnétique sont données comme suit :

- **Période T** : le temps au bout duquel le champ électrique ou magnétique effectue un cycle.
- **Fréquence ν** : C'est le nombre d'oscillations par unité de temps. Elle est donnée en Hertz, ou dans le cas de la télédétection caractérisée par des fréquences très élevées, les mesures sont KHz, MHz ou GHz.
- **Longueur d'onde ou amplitude λ** : (m, μm) la distance entre deux crêtes consécutives.
- **Vitesse de propagation dans le vide** : (vitesse de la lumière) de l'ordre de 300 000 km/s.

La physique moderne a montré que le rayonnement électromagnétique pouvait également être considéré comme un déplacement de particules élémentaires appelées photons transportant une quantité d'énergie par entités élémentaires ou quanta d'énergie pouvant être assimilés à des particules appelées photons.

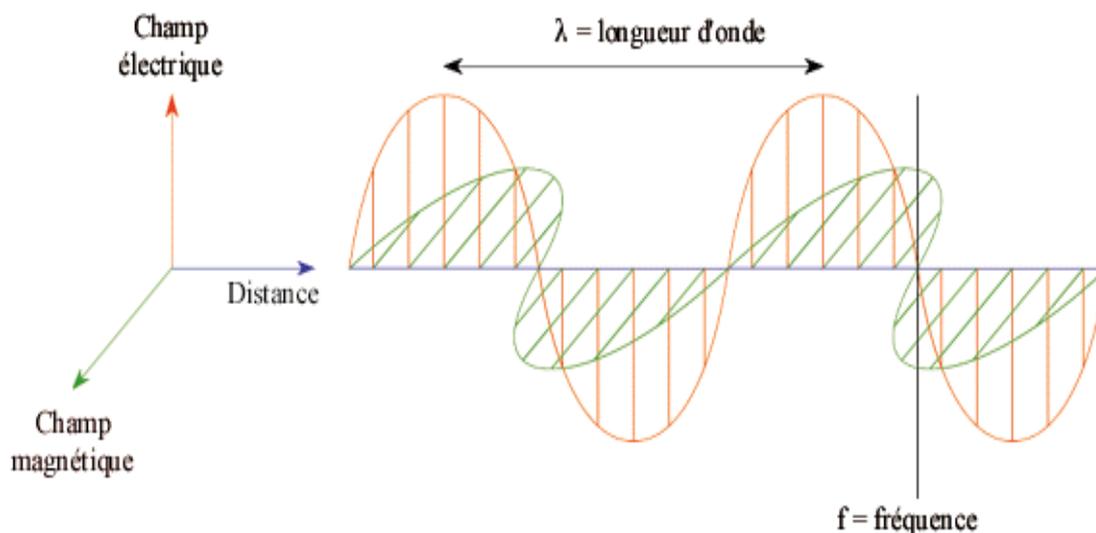


Figure1. 2 : Champs électromagnétique

1.4.2. Spectre électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique existe pour une gamme très étendue de fréquences ou de longueurs d'onde (de 10^{-9}m à 10^5m), qui constitue le spectre électromagnétique (figure1.3).

- Les rayonnements de grande longueur d'onde sont produits par des oscillations électroniques (antennes).
- Les rayonnements visibles, infrarouges ou micro-onde peuvent être produits artificiellement par vibration ou rotation des molécules (fluorescence, lasers, four à micro-ondes).

- Le rayonnement ultraviolet, visible ou infrarouge est émis par les corps, objets ou surfaces en fonction de leur température : rayonnement solaire (U.V, visible et proche infrarouge), rayonnement terrestre (infrarouge thermique).

Une partie très limitée de ce spectre, entre 0,390 μm et 0,7 μm , constitue la lumière visible à laquelle est sensible l'œil humain.

- Les rayonnements de très courte longueur d'onde (rayons gamma, rayons X) sont produits par les structurations des noyaux des atomes (radioactivité).

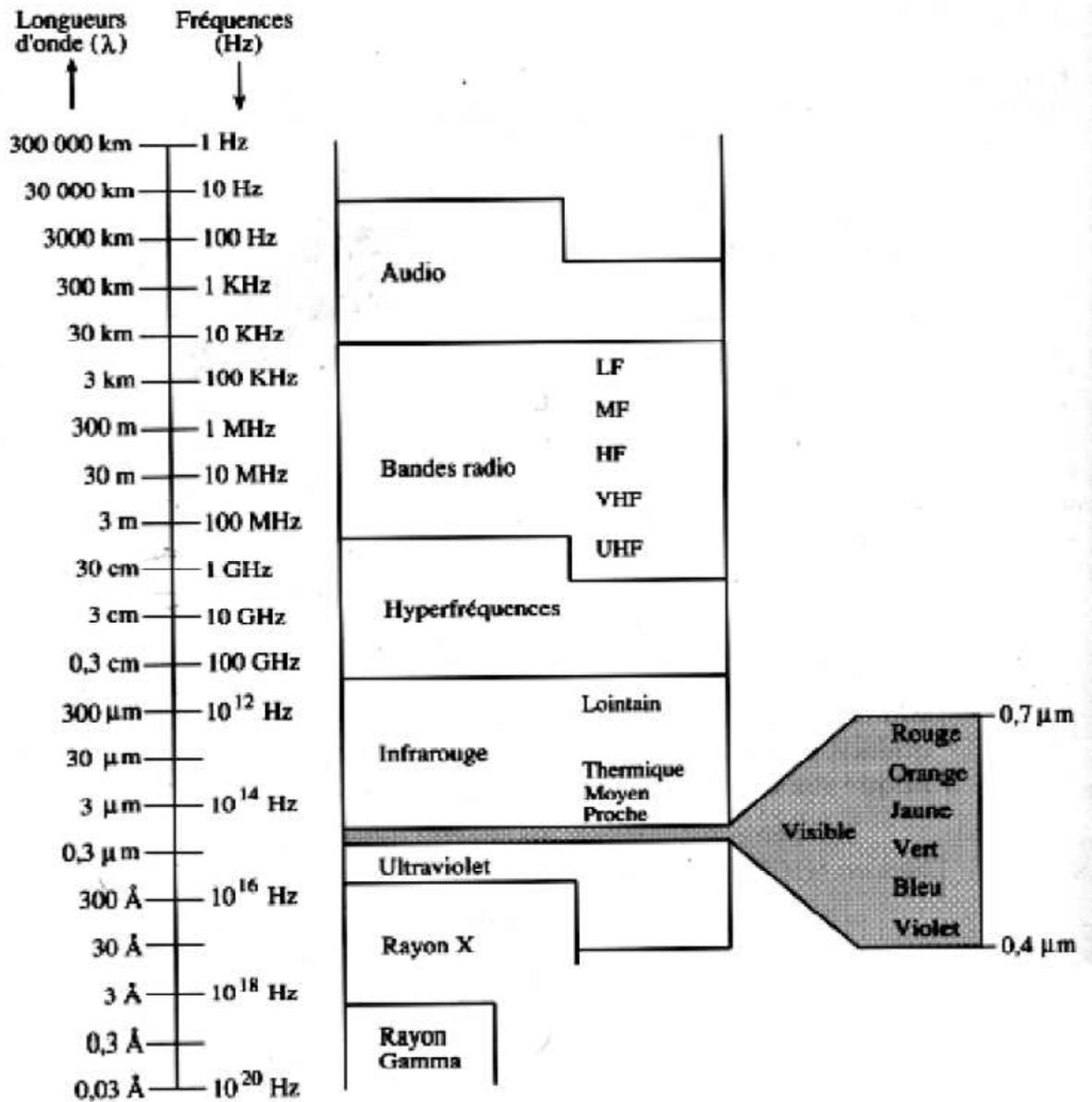


Figure1. 3: Spectre électromagnétique.

1.4.3. Rayonnement et la matière

Soumise à un rayonnement émis par une source extérieure, la matière absorbe une partie de ce rayonnement qui est transformé en chaleur, le reste est soit réfléchi, soit transmis à travers le corps.

-Emission : en fonction de sa température, un corps émet plus ou moins d'énergie. Cette dernière est répartie sur des longueurs d'ondes qui dépendent aussi de sa température. La surface terrestre vers 15°C (288 K) émet un rayonnement infrarouge, le soleil (6000 K) émet un rayonnement visible.

-Transmission et absorption: Lorsque le rayonnement traverse l'atmosphère, une partie de son énergie est absorbée par les gaz qui la constituent (L'azote dans l'ultraviolet et l'infrarouge, l'eau dans l'infrarouge moyen et thermique, le CO₂ dans le proche infrarouge,...etc.).

-Réflexion: les ondes qui arrivent une surface sont réfléchies. La réflexion spéculaire concerne les surfaces parfaitement lisses. La plupart des objets de la surface terrestre sont rugueux et la réflexion est dite propage. La fraction du rayonnement diffus renvoyé en direction de l'émetteur constitue le rayonnement rétrodiffusé.

-Réflectance : La partie de la lumière réfléchiée pour une longueur d'onde donnée se nomme réflectance ($\text{Réflectance} = \text{Energie réfléchiée} / \text{Energie reçue}$) (Figure 1.4).

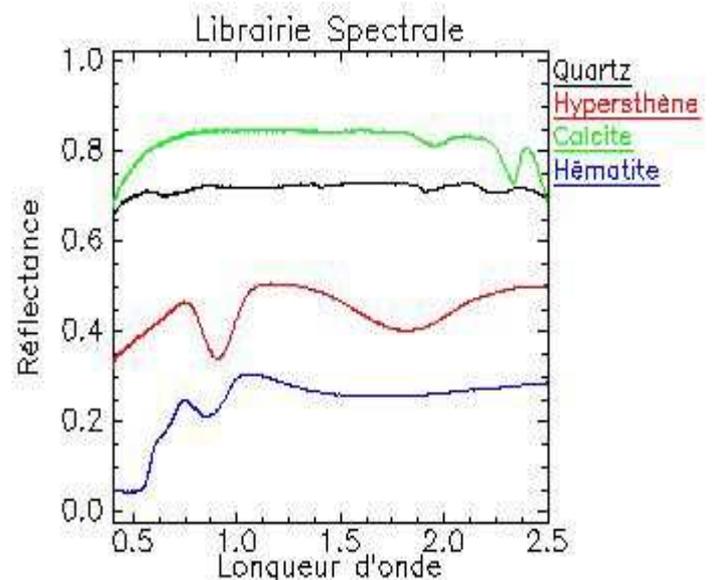
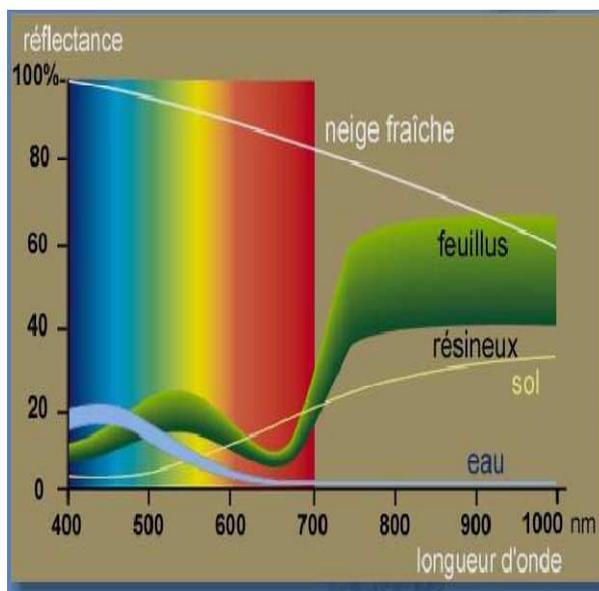


Figure1. 4 : Réflectance des différentes surfaces et leur caractérisation par les différents canaux des satellites.

• **La notion de "signature spectrale" :**

L'objet de la télédétection est de distinguer les différents types de surfaces à partir du rayonnement reçu par le capteur.

- Dans le domaine des grandes longueurs d'onde (infrarouge thermique et micro-ondes), les variations de l'émissivité permettent de caractériser les différents types de surfaces, et constituent donc la « signature » propre à chaque type (Surfaces d'eau et océan : $\approx 0,98$, Forêt : $\approx 0,90$, Surfaces minérales : $0,85$ à $0,95$).

- En télédétection visible et proche infrarouge, la « signature spectrale » des surfaces correspond aux variations de la réflectance spectrale.

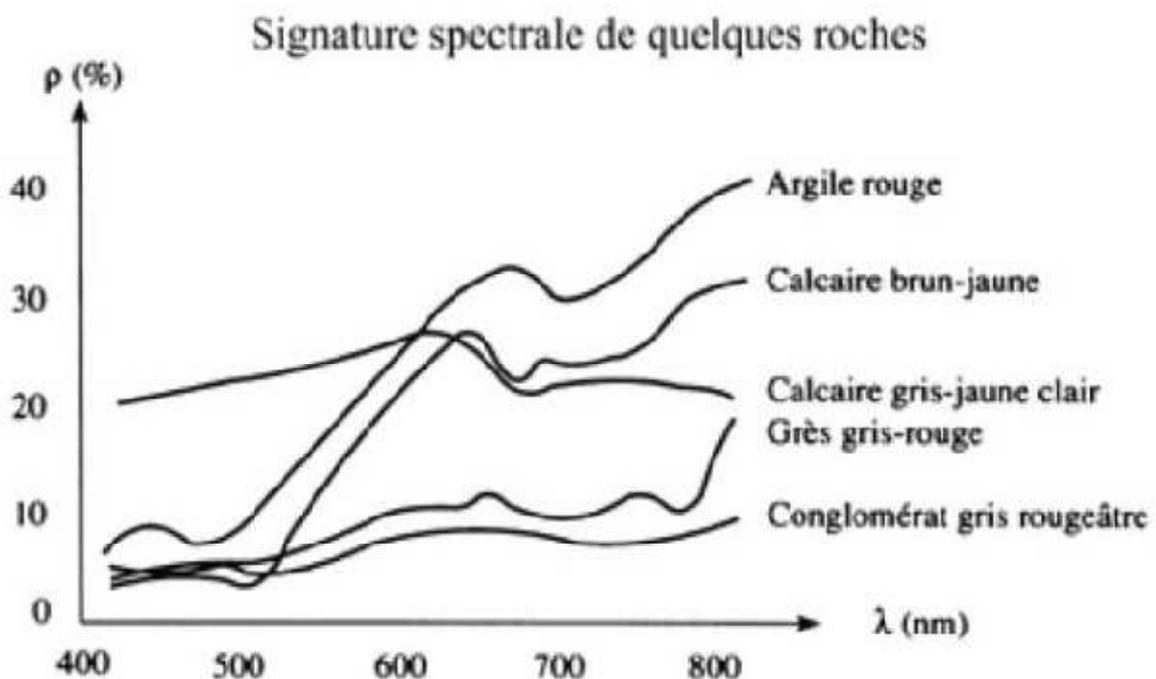


Figure 1. 5 : Signature spectrale de quelques roches et minéraux.

1.4.4. Rayonnement électromagnétique et télédétection

Les domaines du spectre électromagnétique utilisables en télédétection sont imposés par les sources de rayonnement, et la transparence de l'atmosphère. Les très courtes longueurs d'onde (ultraviolet, rayons X) par exemple ne sont pas utilisables, car l'atmosphère absorbe ou diffuse la quasi-totalité de ces rayonnements. En pratique, on peut distinguer trois grands types de télédétection.

• **Le domaine du spectre solaire:** (le visible et le proche infrarouge, de $0,3$ à $4 \mu\text{m}$). Le soleil est l'unique source d'énergie, les effets de l'atmosphère sont limités, l'intensité des flux

radiatifs est suffisante pour permettre une très bonne résolution spatiale, ce domaine est par excellence celui de la télédétection des espaces terrestres.

- **L'infrarouge thermique** : Au-delà de $3 \mu\text{m}$, l'atmosphère n'autorise la transmission du rayonnement que dans un nombre restreint de fenêtres, dont les plus importantes se situent entre $3,5$ et $3,9 \mu\text{m}$ d'une part, entre $10,5$ et $12,5 \mu\text{m}$ d'autre part. Le rayonnement est émis par la surface elle-même. La télédétection infrarouge est surtout destinée à mesurer la température du sol, de l'océan, ou des nuages.

- **Les micro-ondes ou hyperfréquences** : Pour les ondes millimétriques ou centimétriques, la transparence de l'atmosphère est très grande, même les nuages (sauf pendant les précipitations) n'atténuent que très faiblement le rayonnement.

La figure (1.6) résume et schématise les systèmes de télédétection couramment employés :

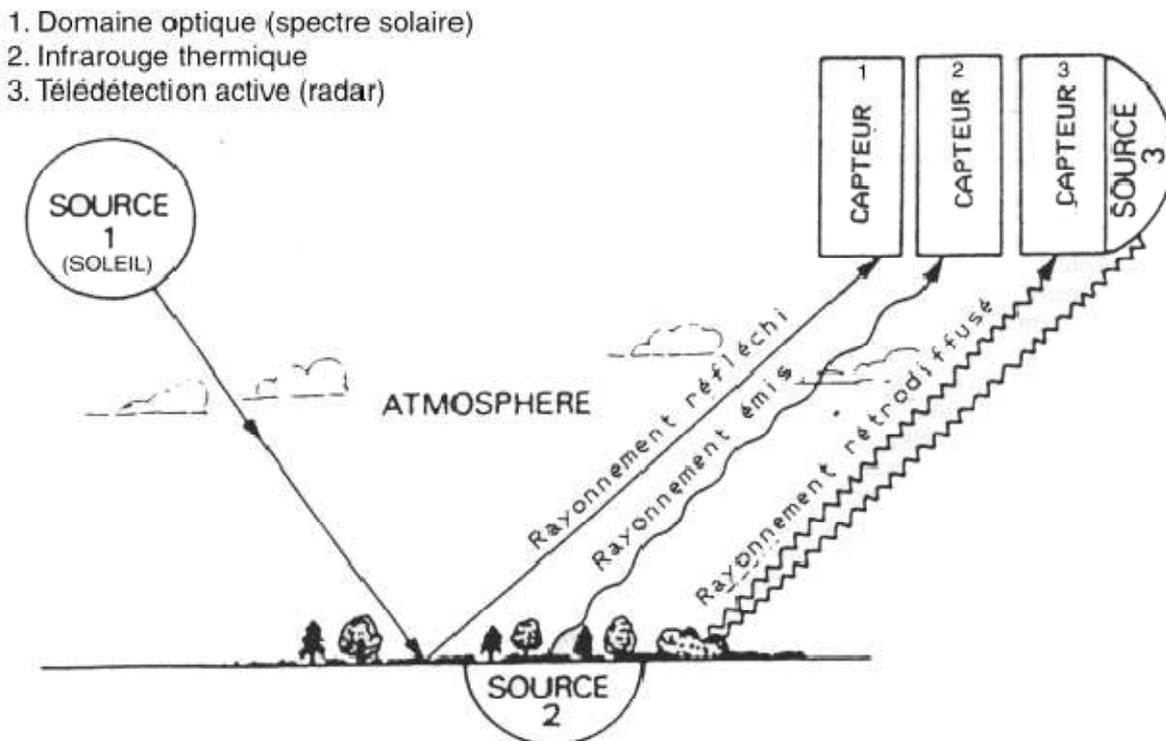


Figure1. 6:Utilisation du rayonnement électromagnétique en télédétection.

1.5. Mesures de la télédétection

Un capteur de télédétection opérant dans les fenêtres atmosphériques mesure la quantité d'énergie EM (Electromagnétique) qui provient des objets terrestres à une longueur d'onde ou à une bande spectrale (intervalle de longueurs d'onde). Le capteur a besoin des quantités d'énergie suffisante pour effectuer une mesure de qualité du REM (Rayonnement Electromagnétique). La solution est d'observer un objet pendant un court laps de temps appelé temps de résidence (le temps d'une pose comme on l'appelle en photographie). La quantité d'énergie normalisée pour le temps de résidence c'est le flux ou en termes plus techniques la puissance du REM. C'est la quantité de base mesurée par un capteur. Pour pouvoir généraliser davantage les résultats des mesures il faut s'affranchir des configurations particulières de chaque capteur et des conditions spécifiques lors de l'acquisition des données. Le flux mesuré est ainsi normalisé par unité de surface observée (densité du flux) et par angle solide d'observation (densité du flux par stéradian) ou luminance.

1.6. Domaines d'application de la télédétection

Les applications de la télédétection se sont multipliées, dans de nombreux domaines de la météorologie et de la climatologie, de l'océanographie, de la cartographie ou de la géographie. Quel que soit le domaine d'applications considérées, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des principes physiques sur lesquels est fondée la technique de télédétection employée.

1.6.1. Application météorologie et climatologie

La météorologie a été la première application civile de la télédétection. Stimulé par un important besoin de données, des programmes spatiaux ont été conçus pour cette seule application. Il s'agit principalement de satellites géostationnaires GOES ou de satellites défilants NOAA. Dans les deux cas, les prévisions s'appuient sur des acquisitions très fréquentes dans les domaines visible et infrarouge. Au système européen METEOSAT (satellite géostationnaire effectuant une acquisition toutes les 30 mn dans 3 canaux: panchromatique, thermique, bande de vapeur d'eau), succédera une deuxième génération MSG (Meteosat Second Generation) caractérisée par une résolution accrue, une douzaine de canaux, et une acquisition toutes les 15 mn.

Les satellites en orbite géostationnaire, à 36000 km de la Terre, permettent d'obtenir une image couvrant près d'un cinquième de la surface terrestre toutes les demi-heures ; cinq satellites de ce type assurent une couverture globale de l'atmosphère terrestre, à l'exception

des pôles. Ce système est complété par des satellites en orbite polaire, à 900 km d'altitude, qui offrent plus de précision.

Les capteurs utilisés permettent d'observer les nuages et leur déplacement, de mesurer des températures ou le contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère. Parallèlement au système opérationnel de ancien météorologique, la météorologie est un domaine très actif de la recherche en télédétection, des capteurs encore expérimentaux, utilisant les micro-ondes, effectuent de véritables sondages de l'atmosphère et mesurent la composition de la stratosphère (ozone) ou les termes du bilan radiatif. Le traitement des données par les physiciens a pour but d'obtenir des paramètres géophysiques susceptibles d'être intégrés dans des modèles numériques de prévision météorologique ou de l'évolution climatique future.

1.6.2. Application océanographie

En océanographie, la télédétection offre l'avantage de permettre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux). Pour certaines études à petite échelle, les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) ; pour les études côtières, ce sont les satellites de télédétection terrestre, équipés de capteurs à haute résolution, qui sont les plus utiles. Des satellites spécialisés à vocation océanographique ont volé dans un passé récent (Nimbus, Seasat) ou volent depuis le début des années 90 (ERS-1 de l'Agence Spatiale Européenne, TOPEX-Poseïdon). Les types de capteurs utilisés pour l'océanographie sont très variés. Les radiomètres utilisant le rayonnement visible analysent la couleur de l'océan, qui permet de mesurer la production biologique (plancton) et la turbidité; le radiomètre infrarouge ou microonde mesurent la température de surface de la mer. La répartition des températures ou des turbidités est un indice des courants océaniques. Les radars embarqués sur des avions ou certains satellites ont l'avantage d'être insensibles aux nuages; ils permettent d'observer les phénomènes ondulatoires présents sur l'océan, les vagues en particulier. Enfin, certains types particuliers de capteurs, radars-altimeètres ou diffusiomètres sont utilisés pour mesurer avec une très grande précision l'altitude de la surface de la mer qui est un reflet de la dynamique océanique (courants généraux), ou la vitesse du vent sur la mer. Parmi les applications océanographiques de la télédétection, citons enfin l'étude des glaces de mer en régions polaires [5].

1.6.3. Application terrestre

Les applications terrestres de la télédétection sont extrêmement variées. La photographie aérienne, sous toutes ses formes, est encore, sans doute pour peu de temps, le moyen le plus usuel de télédétection ; les photographies aériennes sont de plus en plus utilisées sous forme numérique de façon à permettre leur correction géométrique et leur intégration dans les Systèmes d'Information Géographique. En télédétection spatiale, ce sont surtout les radiomètres optiques à haute ou très haute résolution qui sont utiles pour les applications terrestres. Depuis 1972, les progrès dans ce domaine sont remarquables : on est passé d'une résolution de 80 m MSS (Multi Spectral Scanner) de LANDSAT, à 30 m (Thematic Mapper) et à 20 et 10 m HRV (haute résolution visible). En géologie ou pour l'étude de la végétation, les radars imageurs, surtout aéroportés, sont aussi très utilisés. Le champ des utilisations de la télédétection ne cesse de s'élargir : cartographie, géologie et prospection minière, mais aussi surveillance des cultures ou du couvert forestier, urbanisme, aménagement, génie civil, etc....Le traitement de l'imagerie satellitaire numérique est une discipline en constant développement, et la baisse du coût des matériels informatiques a entraîné une augmentation rapide du nombre des utilisateurs.

1.7. Vecteurs et capteurs

1.7.1. Vecteurs

Sont des objets artificiels placés en orbite autour de la terre pour les besoins de la télédétection, des communications et de la télémétrie. Grâce à leur orbite, les plates-formes spatiales permettent une couverture répétitive et continue de la surface de la terre. Le coût est souvent un facteur déterminant dans le choix des différentes plates-formes [6].

Les vecteurs en télédétection sont deux types :

1.7.1.1. Satellites géostationnaires

Un satellite géostationnaire est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite géostationnaire. Sur cette orbite le satellite se déplace de manière exactement synchrone avec la planète et reste constamment au-dessus du même point de la surface observé. Cette caractéristique est très utile pour les télécommunications (satellite de télécommunications) et certaines applications dans le domaine de l'observation de la planète.

1.7.1.2. Satellites à défilements

Un satellite à défilement est un satellite qui défile! C'est-à-dire qu'ils sont en orbite basse et défilent rapidement (typiquement 1 h ou 1 h 30 pour faire le tour de la terre). Ce genre de satellite permet à toute personne équipée d'un téléphone adéquat et quel que soit son endroit de se relier directement au satellite pour téléphoner. Cela nécessite beaucoup de satellites pour que toute la surface de la terre soit couverte et qu'il y ait au moins deux satellites visibles à chaque instant en tout point.

1.7.2. Capteurs

Un capteur, dans le domaine de la télédétection spatiale, est un instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable. Les équivalents en anglais sont : sensor, et transducteur.

Par assimilation et bien qu'elle ne délivre pas de signal électrique, on considère la chambre photographique comme un capteur. Le terme " capteur " est parfois utilisé à tort pour désigner le détecteur.

Les différents types de capteurs utilisés dans le domaine de la télédétection spatiale, sont les suivants :

1.7.2.1. Capteur passif

Nous avons vu que le soleil est une source d'énergie ou de rayonnement pratique pour la télédétection. L'énergie du soleil est soit réfléchi (la portion visible) ou absorbée et retransmise (infrarouge thermique) par la cible.

Les dispositifs de télédétection qui mesurent l'énergie disponible naturellement sont des capteurs passifs. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchi lorsque le Soleil illumine la Terre. Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchi le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (l'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit.

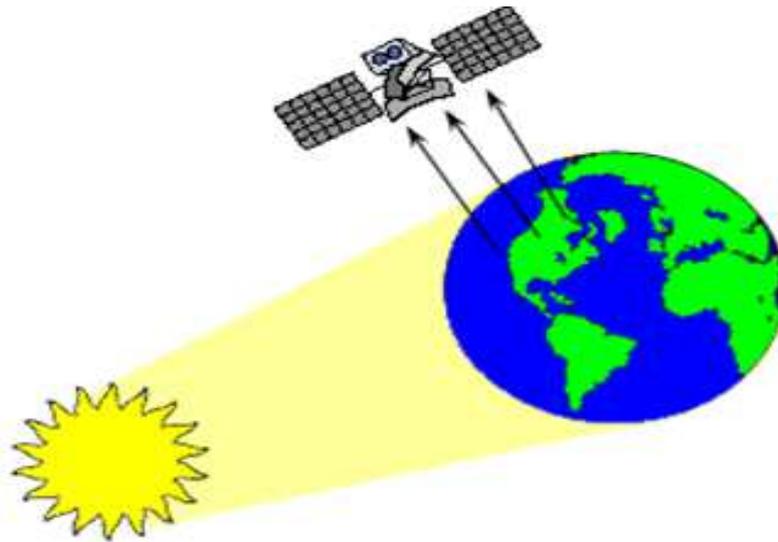


Figure 1. 7: Capteur passif.

1.7.2.2. Capteur actif

Un capteur actif produit sa propre énergie pour illuminer la cible : il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Les capteurs actifs utilisent les longueurs d'onde qui ne sont pas produites en quantité suffisante par le soleil telles que les hyperfréquences ou pour mieux contrôler la façon dont une cible est illuminée. Par contre, les capteurs actifs doivent produire une énorme quantité d'énergie pour bien illuminer une cible. LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) fluoromètre et RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) sont des exemples de capteurs actifs. Les instruments utilisés dans ce domaine sont le RADAR et le LIDAR (Light Detection and Ranging), qui couvrent un domaine spectral allant des micro-ondes au visible. L'onde émise est rétrodiffusée par les composantes atmosphériques : molécules, aérosols et nuages.

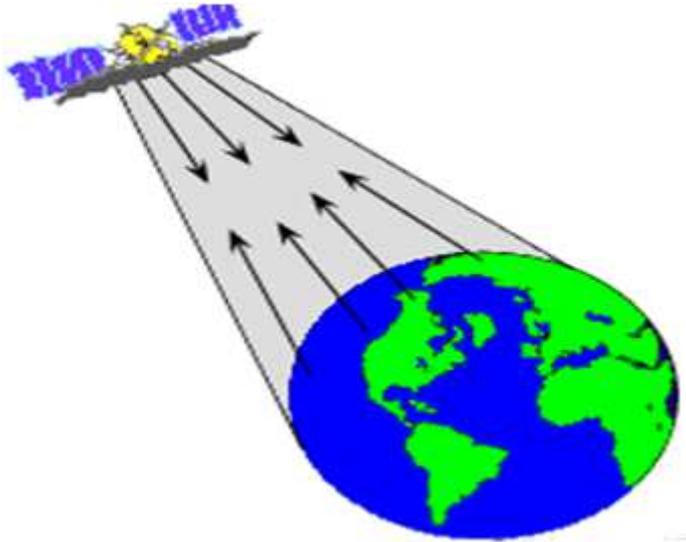


Figure1. 8: Capteur actif.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur la télédétection. Nous avons donné la définition de la télédétection, le principe d'acquisition des images en télédétection, les différents capteurs de la télédétection et les domaines d'application de la télédétection.

Dans le suivant chapitre, nous allons présenter un instrument actif de la météorologie qui est le RADAR.

Introduction

Aujourd'hui, les systèmes de mesures très sophistiqués sont mis au point. Ils permettent l'acquisition à distance et en temps réel. De plus, ces systèmes facilitent l'archivage des données (mesures météorologiques). Il est important de noter qu'une bonne connaissance du phénomène dépend à la fois d'une observation de qualité et aussi du traitement effectué sur les données acquises.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord décrire la prévision météorologique en Algérie et leur station. Ensuite nous allons parler de premier instrument météorologique "RADAR".

2.1. Prévision météorologique

2.1.1. Définition (Météorologie)

La météorologie est une science qui a pour objet l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les précipitations ou le vent dans le but de comprendre comment ils se forment et évoluent en fonction des paramètres mesurés tels que la pression, la température et l'humidité.

La météorologie moderne permet d'établir des prévisions de l'évolution du temps en s'appuyant sur des modèles mathématiques à court comme à long terme. La météorologie a des applications dans des domaines très divers comme les besoins militaires, la production d'énergie, les transports (aériens, maritimes et terrestres), l'agriculture, la médecine, la construction, la photographie aérienne ou le cinéma. Elle est également appliquée pour la prévision de la qualité de l'air.

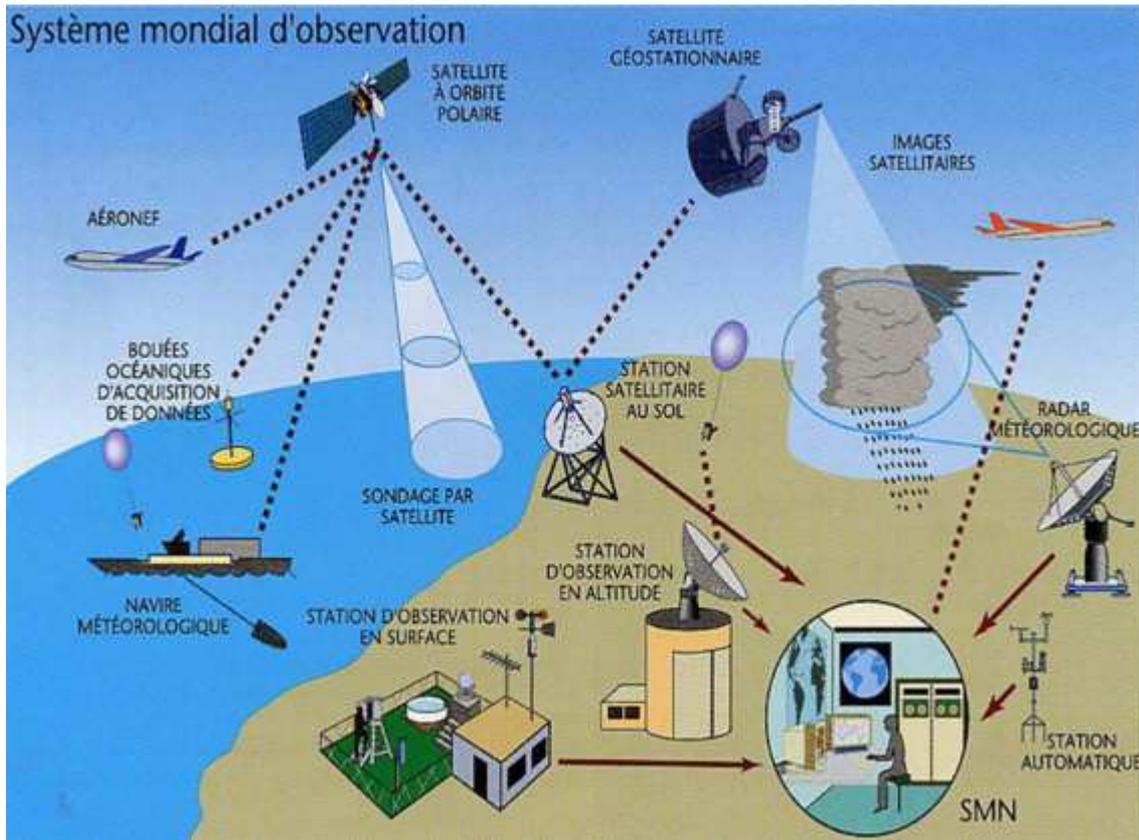


Figure2.1: Systèmes observations météorologiques.

2.1.2. Prévision météorologique

Son but est la prévision météorologique pour les prochaines heures quelque soit pour les 48heures ou 72heures concernant une région, une ville ou tous le pays.

La prévision informe sur les paramètres suivants : la température, le vent, l'état de ciel, l'état de la mer et phénomènes probables. Le résultat est transmis au client sous format texte ou de carte.

L'objectif de cette étude est d'anticiper sur les situations météorologiques à grand impact, les instruments qui mesurent ces paramètres sont transférés au laboratoire au siège de l'ONM (Office National de Météorologie) le but étant de respecter les normes internationales d'observations et de précisions.

2.1.3. Station météorologique

En Algérie, pour assurer une surveillance continue de l'atmosphère, l'office national de la météorologie a mis en place et exploite un réseau de stations d'observations météorologiques couvrant les différentes régions climatiques du pays et comprenant :

- 77 Stations d'observation en surface.

- **12** Stations d'observation en altitude.
- **3** Stations de recherche et d'observation spéciales (Tamanrasset, Tiaret, ksar chellala)
- **7** RADARs météorologiques (un parmi eux c'est un RADAR doppler) et plus de **400** postes climatologiques.
- **296** postes climatologiques dont **117** stations automatiques et **179** postes [7].

Les critères de choix des stations sont basés sur trois critères essentiels :

- Données d'observations complètes ou quasi complètes.
- Stations professionnelles.
- Répartition spatiale uniforme.

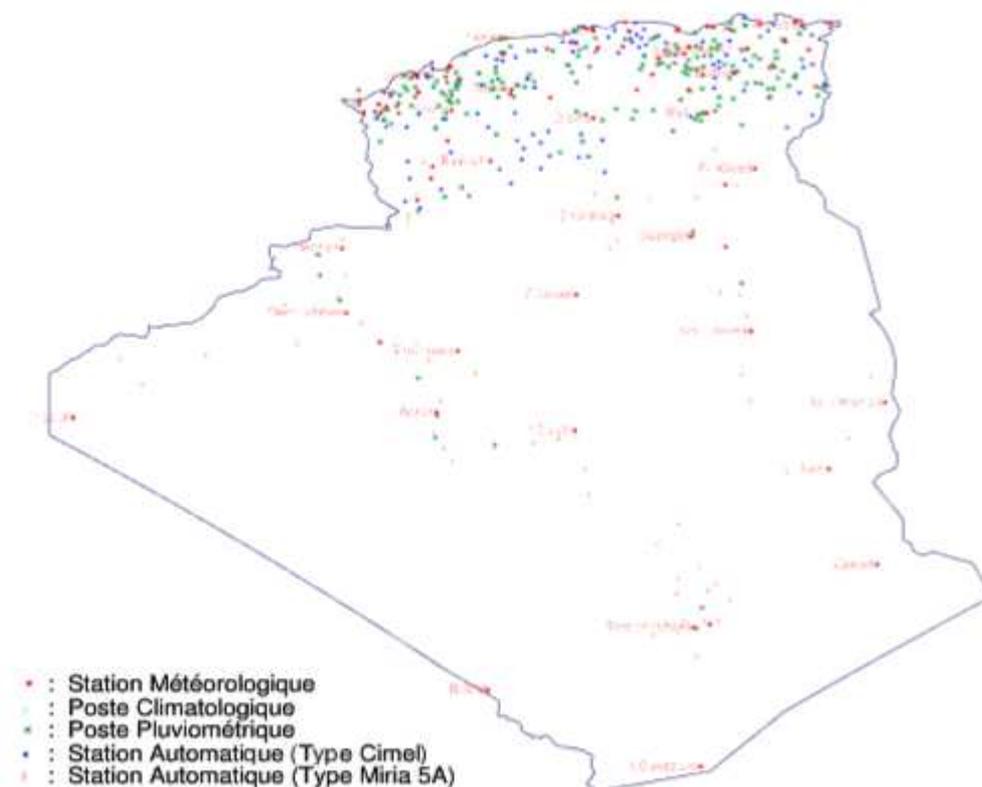


Figure2.2: Réseau d'observation météorologique.

Les séries d'observations des postes auxiliaires sont soit lacunaires soit douteuses. On utilisera autant que possible les données recueillies par les stations professionnelles. Cependant, le déséquilibre dans la distribution spatiale des stations impose parfois de prendre en compte les données des postes auxiliaires [8].

2.1.4. Base de données

Pour une région donnée, les stations pluviométriques forment un réseau d'observation. Elles fournissent des mesures ponctuelles. Les données relatives aux stations sont d'une haute importance pour les statistiques climatiques, la planification et la gestion des ressources et les projets de construction. La nature et la densité des réseaux doivent donc tenir compte du phénomène observé, du but des observations, de la précision désirée, de la topographie, de facteurs économiques ou d'autres encore.

Nous avons pris en compte pour reconstruire la distribution spatiale des précipitations les valeurs journalières mesurées au niveau des 37 stations pluviométriques en Algérie.

Ce site comprend plusieurs données climatiques (précipitations, température, hauteur de neige etc.....) pour 114 stations climatiques. Seules 37 stations proposent des données sans lacunes d'une durée supérieure à 30 années. Celles-ci offrent l'avantage d'avoir une répartition plus ou moins homogène pour couvrir l'ensemble du territoire Algérien.

2.2. RADAR

2.2.1. Définition

Le terme « RADAR » est l'acronyme de l'expression anglaise « RADio Detection And Ranging » (détection par ondes radio et mesure de distance). Le RADAR émet des ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'atmosphère à la vitesse de la lumière ($c=3.10^8$ m/s) [9]. Lorsque celles-ci rencontrent un obstacle, elles sont en partie réfléchies et l'antenne RADAR capte un écho en retour.

Le produit de base fourni par le RADAR météorologique est une image des précipitations générée en temps réel toutes les 5 minutes. Alors ils permettent de localiser les précipitations et de mesurer leur intensité en temps réel. Répartis sur l'ensemble du territoire, ils ont une portée d'environ 100 km pour mesurer la quantité de précipitations et d'environ 200 km pour détecter des phénomènes dangereux. Outre l'intensité des précipitations, les RADARs météorologiques fournissent également, en exploitant l'effet Doppler, des informations sur le vent dans les zones précipitant.

2.2.2. Réseau RADAR météorologique de l'ONM

L'office national de la météorologie dispose d'un réseau de sept RADARs météorologiques implantés pour la plupart sur le nord du pays (Figure2.3). Le choix des sites a été dicté par les critères suivants :

1. Circulation générale atmosphérique se faisant d’ouest en est.
2. Les invasions du sud ouest.
3. Les perturbations venant du secteur nord.
4. Les débordements des phénomènes localisés (cellules orageuses d’été).

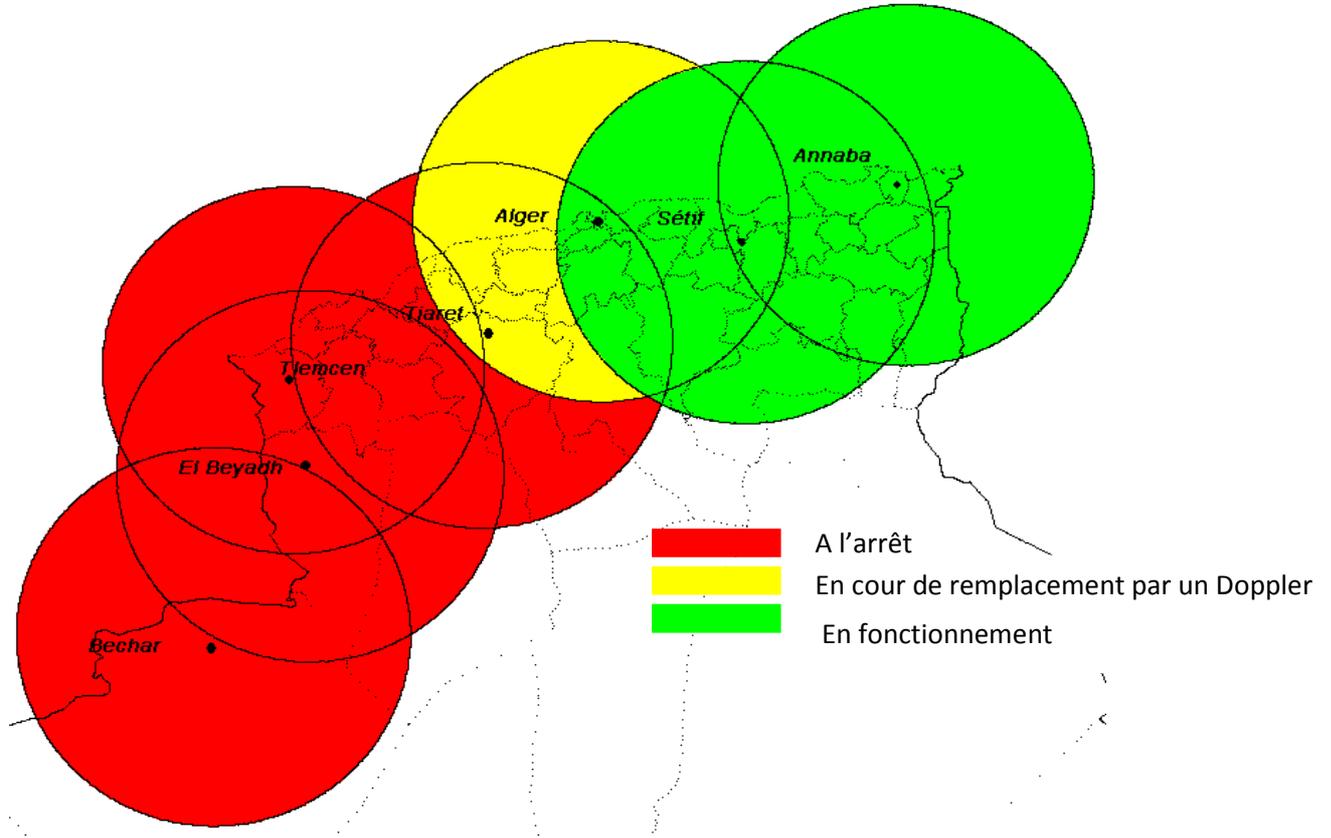


Figure2.3:Le réseau des RADARs météorologiques de l’office national de la météorologie.

Dans le tableau suivant, on donne les coordonnées des RADARs météorologiques de l’ONM.

Tableau2. 1 : Coordonnées des RADARs météorologiques de l’ONM.

Stations	Coordonnées			Indicatifs	
	Latitude (N)	Longitude	Altitude (m)	OMM	OACI
Annaba	36°55'	07°40'E	980	60360	DABB
Sétif	36°11'	05°25'E	1730	60445	DAAS
Alger	36°43'	03°15'E	25	60390	DAAG
Tiaret	35°15'	01°26'E	1127	60511	DAOB

Tlemcen	34°17'	01°23'W	1300	60531	DAON
El Beyadh	33°40'	01°00'W	1800	60550	DAOY
Bechar	31°37'	02°14'W	773	60571	DAOR

2.2.3. Composants d'un système RADAR

Un RADAR est constitué d'une antenne parabolique, d'un système d'émission-réception. L'antenne est équipée de plusieurs moteurs destinés à l'orienter verticalement et horizontalement et d'un radôme, enveloppe sphérique qui protège l'ensemble en cas de forts coups de vent. L'ordinateur, qui assure le traitement du signal, permet une visualisation locale des échos et une diffusion vers le centre national de prévision.

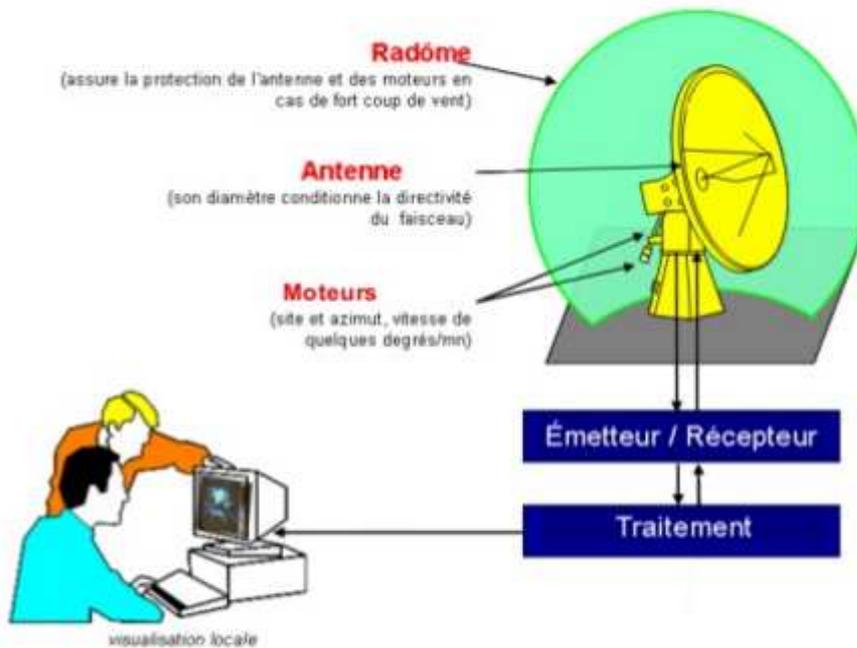


Figure2. 4:Composants de RADAR.

2.2.3.1. Radôme

Un radôme est une structure imperméable, de forme plus ou moins sphérique, qui se met autour d'un RADAR pour le protéger des intempéries. Le nom est une contraction de RADAR et dôme.

2.2.3.2. Emetteur

L'émetteur est un circuit oscillateur qui produit des pulsations électromagnétiques à très hautes fréquences. Il comprend un oscillateur permanent, un amplificateur et un modulateur.

Le rôle de l'émetteur est généré l'onde radio. Sur les RADARS à hyperfréquences (fréquences supérieures de gigahertz), c'est un guide onde qui amène l'onde vers l'antenne.

2.2.3.3. Duplexeur

C'est un commutateur électronique qui dirige l'onde vers l'antenne lors de l'émission ou le signal échoïque depuis l'antenne vers le récepteur lors de la réception quand on utilise un RADAR mono-statique. Il permet donc d'utiliser la même antenne pour les deux fonctions, avec une perte minimale. Il est primordial qu'il soit bien synchronisé puisque la puissance du signal émis est de l'ordre du mégawatt ce qui est trop important pour le récepteur qui traite des signaux d'une puissance de l'ordre de quelques nano-watts. Au cas où l'impulsion émise serait dirigée vers le récepteur, celui-ci serait instantanément détruit.

2.2.3.4. Antenne

Son rôle est de diffusé l'onde électromagnétique vers la cible avec le minimum de perde. Sa vitesse de déplacement, sa rotation ou balancement, ainsi sa position, en élévation comme en azimut, sont asservies, soit mécaniquement, mais parfois aussi électroniquement.

2.2.3.5. Récepteur

Le récepteur est l'élément le plus délicat et souvent le plus complexe du RADAR. Il est installé près de l'antenne. Il doit amplifier et mesurer un signal extrêmement faible à une fréquence extrêmement haute.

Il reçoit le signal incident (cible-antenne-guide ondes-duplexeur), le fait émerger des bruits radios parasites, l'amplifie, le traite et le dirige vers les systèmes électroniques de suivi et de visualisation.

2.2.3.6. Etage de traitement de signal

Permettant de traiter le signal brut afin d'en extraire de données utiles à l'opérateur (détection, suivi, et identification de cible, extraction de paramètre météorologie, océanographiques...etc).

2.2.3.7. Écran

L'écran est la partie utile du RADAR, celle sur laquelle se font la navigation et la détection des obstacles. Les progrès de la technologie ont permis de développer des écrans couleurs et balayeurs de gauche à droite et de bas en haut (le procédé est répété 60 fois par seconde). Un rayon rotatif synchronisé avec l'antenne balaie l'écran à la recherche d'objets. La représentation d'un objet sur l'écran s'appelle un spot.

Le tout est contrôlé par le système électronique de RADAR, programmé selon un logiciel de sondage, les données obtenues sont affichées aux utilisateurs.

2.2.4. Fréquence de RADAR

Selon leur application, les RADARs météorologiques fonctionnent dans des bandes des fréquences. Le tableau suivant est un récapitulatif des longueurs d'onde utilisées par les RADARs, ainsi leur bandes de fréquences correspondantes.

Tableau2. 2 : Différents gammes de RADAR.

Les gammes de RADAR		
Fréquence (GHz)	Longueur d'onde (cm)	Bande
90	0.1	W (nuage)
30	1.0	K (nuage)
10	3.0	X (précipitation)
5	6.0	C (précipitation)
3	10.0	S (précipitation)
1.5	20.0	L (précipitation)

Dans RADAR, les types de bande les plus fréquents sont : bande S (10 cm), bande C (6 cm) et bande X (3 cm). Plusieurs facteurs influencent le choix d'une bande de fréquence. Les courtes longueurs d'onde sont plus sensibles mais ont une atténuation plus forte dans la précipitation que les systèmes à plus grande longueur d'onde. Pour une résolution fixée, le système à grande longueur d'onde requière une plus grande antenne, ce qui est beaucoup plus dispendieux.

2.2.5. Principe de RADAR

Le principe de base du RADAR utilise la transmission d'ondes électromagnétiques qui sont réfléchies par la cible. Le signal retourné est reçu et analysé afin d'obtenir les caractéristiques de la cible. Le RADAR est utilisé au moins pour détecter la présence ainsi que la position de la cible, mais l'analyse des mesures peut aussi inclure des aspects plus sophistiqués comme sa vitesse et sa distribution spatiale.

Le RADAR météorologique permet de mesurer les propriétés de la précipitation à partir du sol. Les RADARs les plus courants utilisent une antenne à balayage transmettant des impulsions de micro-ondes de faible puissance et de longueur d'onde comprise entre 3 et 10cm. À ces longueurs d'onde, la radiation interagit avec les particules de précipitation (aussi appelées « hydrométéores ») et cette interaction donne lieu à une diffusion arrière (ou

rétrodiffusion) et à une atténuation des ondes RADAR. La puissance rétrodiffusée est reçue au RADAR, permettant ainsi la détection. Sachant que les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de la lumière, le temps pris par celles-ci pour atteindre la cible et revenir au récepteur du RADAR détermine la distance de la cible. La quantité de puissance retournée est reliée à l'intensité de précipitation observée (taux de précipitation). En plus des précipitations, d'autres objets peuvent générer des échos RADARs. Parmi les cibles non reliées aux précipitations les plus courantes, on retrouve les variations d'indice de réfraction de l'air (aussi appelées « échos en air clair »), le sol et autres objets statiques (bâtiments, lignes à haute tension, ...), les insectes et les avions.

2.2.6. Fonctionnement d'un RADAR météorologique

L'antenne émet un signal électromagnétique, produit par les composants complexes du RADAR météo, dans l'atmosphère environnante. Ce signal interagit avec la pluie, la neige ou la grêle, générant une rétrodiffusion vers l'antenne. Cette dernière capte l'écho réfléchi, très faible, et le transmet au système électronique et informatique afin qu'il soit ensuite traité. L'intensité de l'écho permet d'identifier le type de précipitation, et la durée de transmission du signal en déduisant la distance entre la station RADAR météorologique et les précipitations.

D'un diamètre de 4,2 m, l'antenne du RADAR météo est en rotation continue sur elle-même, 24 heures sur 24, 365 jours par an et rotation après rotation, son élévation se modifie: l'antenne balaie ainsi l'atmosphère dans un volume de forme cylindrique de 240 km de distance maximum et 18 km d'altitude. Le balayage complet de ce volume requiert 5 minutes. Au bout de 20 rotations complètes, effectuées à différents angles d'élévation, l'antenne revient à son niveau initial et le cycle reprend.

Le signal rétrodiffusé vers l'antenne du RADAR météorologique est recueilli, amplifié et traité afin de faciliter l'interprétation d'un grand nombre de signaux enregistrés par le RADAR, ce qui permet d'éliminer le plus grand nombre d'interférences possibles, comme les échos provoqués par la présence des montagnes.

Le signal reçu par chacun des RADARs est d'abord traité localement par un ordinateur. Celui-ci élabore entre autres une image des précipitations toutes les cinq minutes et la transmet à un gros calculateur. L'image composite est alors constituée à partir des images locales de tous les RADARs. Cette cartographie des précipitations et de leur intensité apporte aux prévisionnistes un outil précieux pour l'élaboration des prévisions à courte échéance. L'image RADAR complète en effet les images satellitaires et les autres types de mesures.

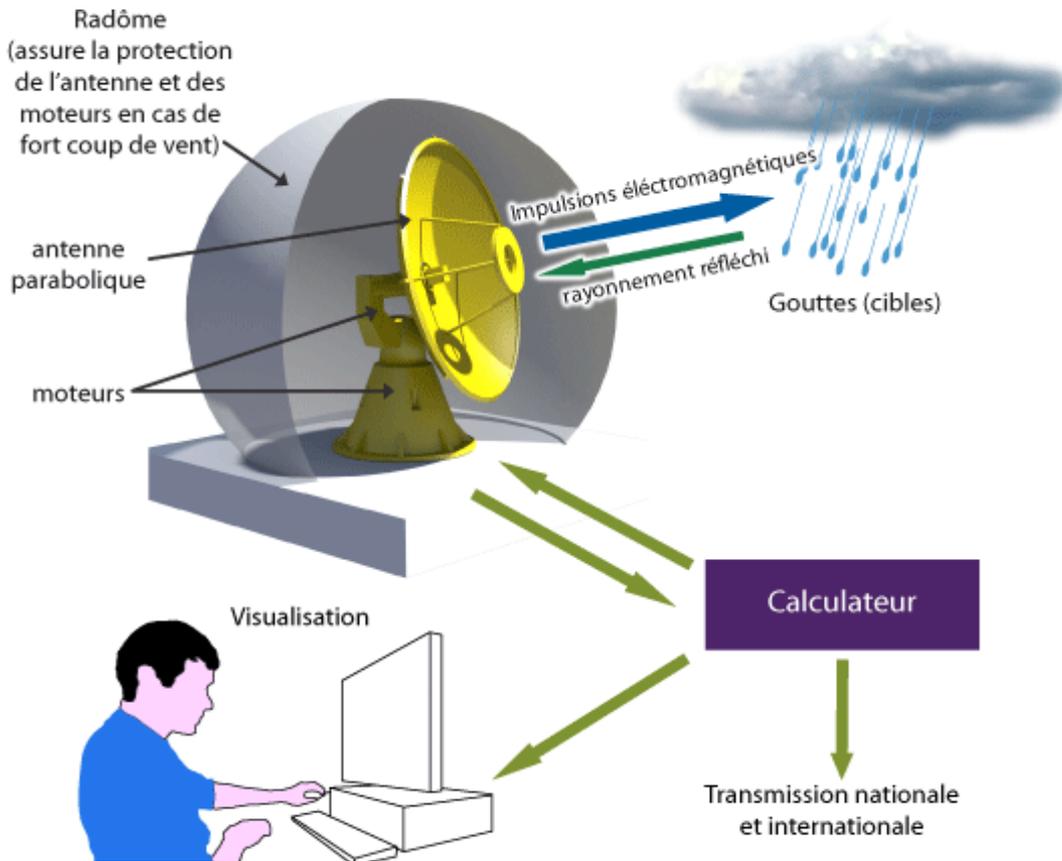


Figure2. 5:Schéma de fonctionnement de RADAR météorologique.

2.2.7. Calcule de la distance RADAR-Echo

Une antenne tournante émet un signal électromagnétique dans l'atmosphère à des intervalles de temps égaux des impulsions d'énergie électromagnétique qui sont à la fois puissantes et très brèves et de fréquence élevée. L'énergie émise est concentrée en un faisceau de faible ouverture par une antenne directive. Les cibles (molécules d'eau, insectes,...) interceptent une partie de l'énergie incidente qu'elles absorbent puis la rayonne dans tout l'espace. La partie réfléchiée en direction de l'antenne tournante qui fonctionne aussi comme récepteur constitue le signal utile. Les ondes électromagnétiques (OEM) se propagent à la vitesse de la lumière.

La distance est calculée à partir du temps de transit (aller et retour) d'une brève impulsion radioélectrique émise et de sa vitesse de propagation C . La distance de l'écho (calculée par le RADAR) est la distance en ligne droite entre l'antenne du RADAR et la cible. La distance sol est la distance horizontale entre l'antenne et la cible: elle ne peut être déterminée que si l'on a calculé l'altitude de la cible, ou son angle de site. Le temps mesuré est le temps nécessaire à l'impulsion pour aller de l'antenne à la cible, puis de la cible vers l'antenne après réflexion.

Chaque impulsion revenant au RADAR a parcouru deux fois la distance RADAR-cible. La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante:

$$r = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \tag{2.1}$$

c = vitesse de la lumière [m/s].

Δt = temps mesuré [s].

r = distance [m].

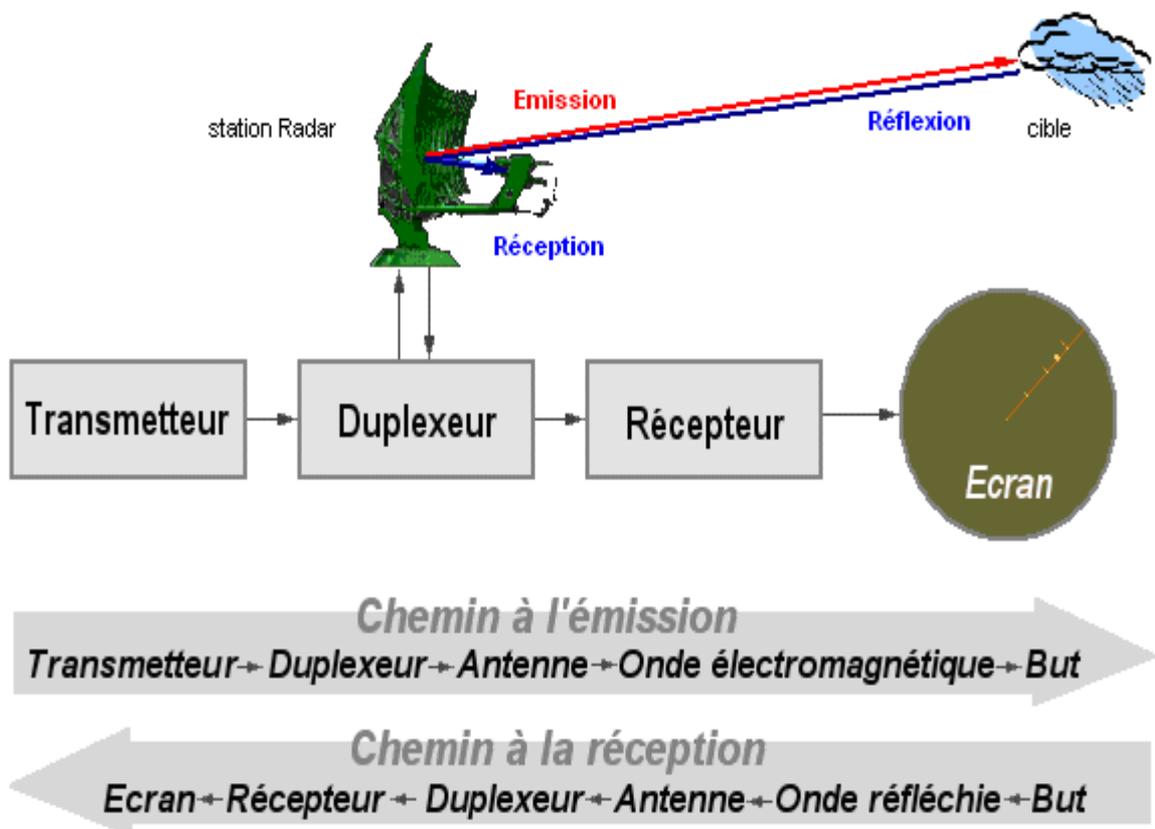


Figure2. 6:Schéma synoptique d'un RADAR météorologique.

Chaque cible réfléchit le signal en le dispersant dans un grand nombre de directions. Le signal réfléchi est aussi appelé "scattering" (diffusion). "Backscatter" (rétrodiffusion) est le terme désignant la partie du signal réfléchi diffusée dans la direction opposée à celle des ondes incidentes (émises).

Les échos détectés par le RADAR peuvent être visualisés sur l'écran traditionnel de type PPI (plan position indicator) ou sur tout autre système de visualisation plus élaboré. L'écran type PPI permet de visualiser un vecteur dont l'origine est la position actuelle du RADAR et la direction l'axe de l'antenne. Ce vecteur fait le tour de l'écran à la vitesse de rotation de

l'antenne, et la position de l'axe de l'antenne au moment où un écho est détecté correspond donc à la direction dans laquelle se trouve cet écho.

L'intensité du signal reçu est quant à elle proportionnelle à la puissance 6 de la taille des particules ainsi qu'à leur nombre. Il est donc possible de distinguer la bruine (faiblement visible), de la pluie, de la grêle, qui est composée de grosses et nombreuses particules, ou de la neige. Connaissant la taille des gouttes et leur nombre, il y a la possibilité, après calibrage, d'utiliser une échelle de couleur pour représenter l'intensité des précipitations.

Pour l'informatique, un point est codé sur plusieurs bits. La place mémoire occupée par un point dépend de la « profondeur », c'est-à-dire du nombre de couleurs affichables :

Noir et blanc : un bit (1/8e d'octet).

16 couleurs (standard VGA) : 4 bits.

256 couleurs : 1 octet

Une séquence de 8 bits permet de coder un nombre entier compris entre 0 et V_{max} de 255 : en effet, 2^8 vaut 256. Par conséquent, la valeur de la composante (rouge, vert, bleu) d'un pixel peut être représentée selon 256 niveaux différents (allant du 0 à 255 d'intensité maximum) [9].

2.2.8. Principe de mesure RADAR

Le RADAR météorologique est utilisé pour mesurer la puissance rétrodiffusée par un ensemble de gouttes de pluie. L'écho reçu par un RADAR météorologique permet de mesurer l'orientation, l'éloignement et l'altitude auxquels se localise, par rapport au site RADAR, la précipitation ayant provoqué la rétrodiffusion du rayonnement électromagnétique émis depuis ce site [10].

Les RADARs météorologiques mesurent la puissance rétrodiffusée par les précipitations dont on dérive une réflectivité RADAR. L'intensité des précipitations est ensuite déduite à l'aide d'une conversion réflectivité – intensité.

La puissance reçue par le radar (P_r) est reliée à une quantité Z , le facteur de réflectivité, par l'équation RADAR suivante:

$$P_r = \frac{CK^2Z}{r^2} \quad (2.2)$$

Dans cette expression, C est le constant RADAR qui dépend d'un certain nombre de caractéristiques intrinsèques du RADAR (la puissance émise, le gain de l'antenne...), r est la distance de la cible et K est la constante diélectrique de la cible. Le constant diélectrique dépend de la phase des hydrométéores (eau liquide ou glace). Le facteur K^2 a une valeur de 0.93 pour l'eau liquide et de 0.2 pour la glace.

Le facteur de réflectivité est donné par l'expression suivante:

$$Z = \int n(D) D^6 dD \quad (2.3)$$

Où D est le diamètre des hydrométéores et $n(D)$ est la distribution en taille des hydrométéores. Le facteur de réflectivité s'exprime en mm^6/m^3 ou également en décibels :

$$Z(\text{dB}) = 10 \log_{10} Z(\text{mm}^6/\text{m}^3) \quad (2.4)$$

Il représente le pouvoir réfléchissant de la cible, c'est-à-dire de l'ensemble des hydrométéores contenus dans le volume échantillonné.

La réflectivité sera d'autant plus grande que le nombre d'hydrométéores est élevé et que ces hydrométéores sont grands. Il faut noter que le diamètre intervient dans l'expression (2.3) avec un exposant 6, ce qui signifie que la taille des hydrométéores influence très fortement la réflectivité.

La distance de la cible étant connue et en supposant que les hydrométéores sont des gouttes de pluie, la puissance mesurée par le RADAR peut être convertie en réflectivité en utilisant l'expression (2.2). Le RADAR permet donc de mesurer la réflectivité de la cible. Or, la grandeur que l'on souhaite estimer est le taux de précipitations R exprimé en mm/h . Il n'existe pas de relation directe entre la réflectivité et le taux de précipitations. Cette relation dépend de la distribution en taille des gouttes qui est inconnue et extrêmement variable. Dans la plupart des centres météorologiques opérationnels en Europe, la même relation Z - R est utilisée:

$$Z = a R^b \quad (2.5)$$

Pour les applications opérationnelles, les paramètres a et b sont fixés à une valeur constante quelles que soient les conditions météorologiques. Les valeurs les plus couramment utilisées en Europe sont $a = 200$ et $b = 1.6$, Z et R étant exprimés respectivement en mm^6/m^3 et en mm/h .

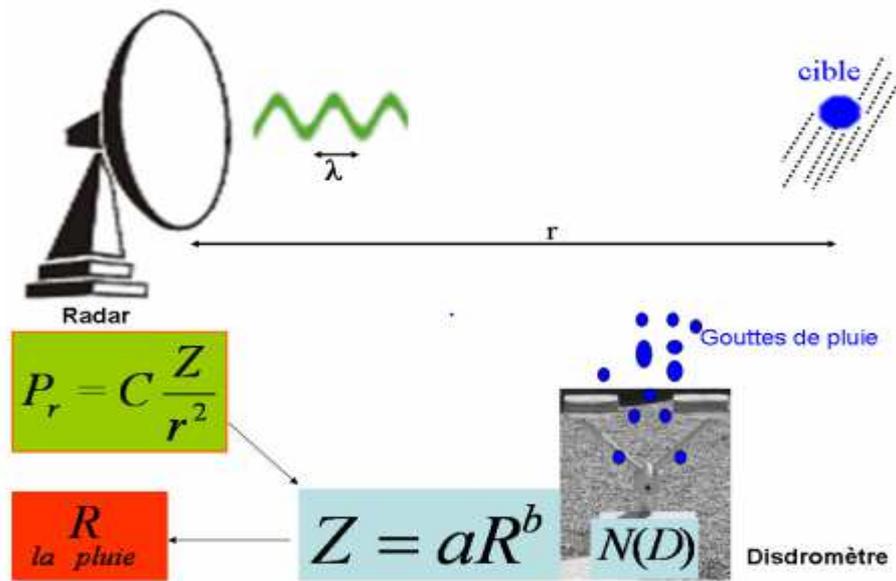
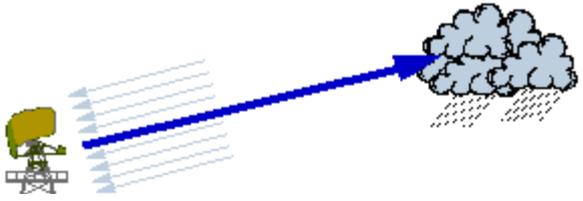


Figure2. 7:Principe de mesure de RADAR météorologique.

L'intérêt du RADAR météorologique est de mesurer le taux de précipitations. Celle-ci est mesurée par la réflectivité (Z) qui va varier grandement entre la brume et les pluies torrentielles ou la grêle. Des échos non météorologiques peuvent se mêler aux précipitations. Les avions, les oiseaux, les échos de sol et autres artefacts sont généralement reconnaissables pour un utilisateur expérimenté, car ils ont des caractéristiques particulières, mais contaminent les données. C'est pourquoi on utilise une échelle logarithmique pour Z qui peut débiter autour de 0 dBZ et aller à plus de 80 dBZ.

Tableau2. 3: Comparaison graphique de l'intensité des échos radar selon la précipitation.

Cas A	La réflectivité retournée par un nuage qui ne contient pas de précipitations est généralement nulle. Seul les RADARs ayant une très courte longueur d'onde, bande L, peuvent obtenir un très faible retour.	
Cas B	De la pluie ou brume faible donnera des échos faibles.	

Cas C	Dans le cas de pluie forte, parfois avec de la grêle, les retours seront très importants.	
-------	---	--

2.2.9. Différentes Méthodes de Calibrage

Le calibrage du RADAR consiste à déterminer un facteur de correction pour estimer l'intensité de pluie à partir de la formule standard Z-R ou la détermination des constantes **a** et **b** de la relation Z-R. Les méthodes les plus utilisées sont :

2.2.9.1. Calibrage par un réseau de pluviomètres

La méthode classique de calibrage hydrologique est l'utilisation conjointe des images RADAR et de mesure pluvio-graphique, pour remédier à certaines causes d'erreurs et permet aussi d'améliorer la qualité de la mesure RADAR.

Des pluviographes à intensité sont installés pour la mesure de l'intensité de pluie (IP). Pour la détermination de l'intensité de pluie (IR), on utilise formule de Marshall et Palmer.

$$Z = 200 \cdot R^{1.6} \quad (\text{Cette relation s'applique aux latitudes moyennes}).$$

Si on considère que la correction est uniforme sur toute l'image RADAR, un facteur moyen de correction est évalué :

$$f_{c0} = \frac{\sum IP_i}{\sum IR_i} \quad (2.6)$$

f_{c0} : est le facteur correctif pour la maille RADAR M_0 .

L'intensité de pluie résultante en un point M_0 s'exprime par : $I_o = f_{c0} \cdot IR_o$

Dans un second cas, on peut prendre en compte les variations du facteur de correction dans l'espace. Dans cette dernière hypothèse, calibrer l'image RADAR consiste à appliquer un schéma d'interpolation aux facteurs de correction déterminés aux divers points de comparaison.

Les ajustements locaux sont faits en interrogeant les sites de calibrage les plus proches et en leurs assignant des poids inversement proportionnels à la distance. Les données du RADAR sont modélées avec les données du réseau pluviométrique par une technique d'ajustement plan tenant compte de la variance des précipitations indiquée par le RADAR.

Cette méthode donne des résultats assez satisfaisants pour des périodes d'intégration (>24heures) avec des erreurs moyennes d'environ 10 à 30% pour un réseau pluviométrique comportant un point de mesure pour 1000 à 2000 km².

L'erreur d'estimation diminue lorsque l'espacement entre les pluviomètres diminue.

Dans tous les cas, le cumul de données pendant de longues durées conduit pour la pluie à des résultats en accord avec la relation standard de Marshall et Palmer[9] .

$$Z = 200.R^{1.6} \quad (2.7)$$

2.2.9.2. Calibrage par la méthode climato - statistique

La méthode utilise seulement les données RADAR et la constante climatologique de la région où le RADAR est installé. La constante climatologique est déterminée à partir de la distribution de l'intensité de pluie en utilisant des pluviographes à intensité ou disdromètre.

Un disdromètre est un système de mesure et d'acquisition de données pour l'estimation en temps réel des distributions de la taille des gouttes, avec ce dispositif on obtient la distribution des gouttes minute par minute.

La méthode climato-statistique est proposée pour la première fois par Calheirus et Zawadksi (1987). Elle est basée sur le concept suivant : si deux variables sont liées par une fonction, la transformation de l'une des variables en l'autre produit des densités de probabilités égales. Dans notre cas les deux variables sont le facteur de réflectivité RADAR des précipitations Z et l'intensité de pluie R.

On peut écrire :

$$P(R)dR = P(Z)dZ \quad (2.8)$$

L'essence de la méthode de climato-statistique consiste à déterminer des paires de valeur R_i et Z_i

$$\int_{R_i}^{\infty} P(R)dR = \int_{Z_i}^{\infty} P(Z)dZ \quad (2.9)$$

Il a été montré (Atlas et al 1990-Sauvageot 1994) que P(R) est convenablement par une distribution log-normale, compte tenu de la relation Z-R, conclure que P(Z) est également log-normale.

Les paires ajustées R_i et Z_i (par exemple 10 valeurs correspondante à des FDC 10%,20%,.....100%) définissent la relation entre Z et R.

En régressant $\log(R_i)$ et $\log(Z_i)$ on détermine les coefficients a et b.

La théorie ordinaire de la distribution log-normale montre que lorsque deux variables aléatoires log-normales sont liées par une fonction de puissance on peut écrire entre les paramètres des variables log-normales les relations suivantes :

$$-\mu_y = \frac{(\mu_z - \ln a)}{b}$$

$$-\sigma_y^2 = \frac{\sigma_z^2}{\mu_y \cdot b}$$

$(\mu_y - \sigma_y^2)$ Sont la moyenne et la variance de $\ln(R)$

$(\mu_z - \sigma_z^2)$ Sont la moyenne et la variance de $\ln(Z)$

$$\ln a = \mu_z - 0.75 \cdot \mu_y \cdot \sigma_z$$

$$b = 0.75 \cdot \sigma_z$$

μ_z , σ_z sont déterminés à partir des images RADAR, tandis μ_y , σ_y sont la moyenne et la variance de la variable log-normale de R déterminées à partir de la distribution climatique de l'intensité de pluie de la région (The probability Density function of rain rate and the estimation of rainfall area integrals 1994) [9].

2.2.10. Rôle de RADAR dans la chaîne de prévisions

Le signal émis par chacun des RADARs est d'abord traité par son ordinateur. Celui-ci élabore un certain nombre de produits « RADAR individuel » (image des précipitations notamment) qui sont transmis toutes les 5 minutes généralement. Des mosaïques (ou images composites) 2D sont alors constituées à partir des données de tous les RADARs. Certaines mosaïques intègrent également les données de RADAR étrangers (pays limitrophes). Des données exogènes (pluviomètres, images satellite, sorties de modèles) peuvent aussi être utilisées dans la fabrication de certains produits (images de cumul de précipitations ou «lames d'eau » par exemple).

Les produits RADAR constituent un outil précieux pour l'élaboration par les prévisionnistes des prévisions à courte échéance. L'information issue des RADARs complète en effet les images satellitaires et les autres types de mesures. La signalisation des zones convectives

fournie par les RADARs météorologiques est devenue une aide essentielle pour la bonne gestion du contrôle aérien. Le prévisionniste utilise un terminal dédié à l'imagerie météorologique pour superposer, programmer des séquences d'animation ou faire des zooms sur des zones particulières. Enfin, depuis plusieurs années, les données RADAR (vent et réflectivité) sont assimilées par le modèle de prévision numérique à maille fine, avec un impact positif sur la qualité des prévisions à plusieurs heures.

L'imagerie RADAR apporte également des informations indispensables aux services de prévision des crues puisqu'elle fournit, après traitement approprié, une estimation des cumuls de précipitations dont la fiabilité croît année après année.

Enfin, outre-mer, les RADARs sont utilisés pour la détection et le suivi des cyclones tropicaux.

2.2.11. Types RADAR

La plupart des pays ont développé des réseaux de RADARs météorologiques de surface pour surveiller le temps, alors il existe des RADARs utilisés par des usagers spéciaux :

- ✓ RADAR météorologique conventionnel (Non Doppler).
- ✓ RADAR météorologique Doppler.
- ✓ RADAR à double polarisation.

2.2.11.1. RADAR météorologique normal

Il s'agit d'un RADAR qui ne sonde que pour la réflectivité. Jusqu'à la fin des années 1980, c'étaient des seuls RADARs disponibles opérationnellement. Leurs données ont été essentielles pour suivre les précipitations et développer une compréhension la structure de celles-ci, autant dans les dépressions de large échelle, dite synoptique, que pour les orages violents. L'élimination des divers artefacts non reliés aux précipitations est cependant difficile avec ces radars. En effet, les algorithmes pour le faire, comme le traitement statistique ou par carte des échos parasites, sont moins efficaces. Il reste encore un bon nombre de ces RADARs en usage mais ils ne sont plus produits [11].

2.2.11.2. RADAR météorologique Doppler

2.2.11.2.1. Effet Doppler

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours de temps [12].

Il est utilisé par un RADAR pour deux tâches :

- ✓ Mesure de la vitesse des cibles.
- ✓ Filtre des faux échos pour la visualisation des cibles mobiles.

Dans le domaine météorologie, l'utilisation de l'effet Doppler pour détecter les mouvements de l'air résultants des précipitations et les tornades. Il mesure la vitesse et la direction de pluie et pour prévenir l'apparition des tempêtes.

2.2.11.2.2. RADAR Doppler

Le RADAR météorologique Doppler présente non seulement toutes les caractéristiques du RADAR météorologique normal, c'est-à-dire qu'il permet d'évaluer l'intensité des perturbations et la distance à laquelle elles se trouvent, mais en plus de cela, les RADARs météorologiques Doppler peuvent aussi mesurer leur vitesse et l'orientation de leur mouvement. Pour cela, il émet dans l'atmosphère des pulsations d'ondes radiophoniques, qui rebondissent sur la glace, la neige, les gouttelettes d'eau ou d'autres particules atmosphériques. Les caractéristiques physiques de ces ondes (c'est-à-dire leur longueur d'onde) sont consignées à l'émission. Lorsqu'elles rencontrent une perturbation, elles sont réfléchies par les particules qui la composent (neige, gouttelettes d'eau, etc...) sous forme d'échos, puis sont alors réceptionnées par le RADAR qui analyse à nouveau leurs caractéristiques physiques. Ainsi, si la longueur d'onde se réduit, on en déduit selon les principes de l'effet Doppler que la perturbation s'approche du RADAR, et à l'inverse, si elle augmente, que la perturbation s'en éloigne. Comme la vitesse de déplacement des ondes (qui est la vitesse de la lumière) et l'orientation de l'antenne RADAR sont connues, l'éloignement, la position et la vitesse (radiale) de la perturbation par rapport à l'émetteur peuvent être calculés, à partir des échos. Cette information sert à préciser le lieu et l'intensité de la perturbation dans la région couverte par le RADAR (un cercle de 200 à 400 km de rayon). Le RADAR météorologique Doppler fournit donc des informations beaucoup plus précises que le RADAR météorologique normal au sujet des perturbations atmosphériques et de leur évolution

Ainsi, les météorologistes utilisent, par exemple les données produites par les RADARs météorologiques Doppler pour fournir des prévisions plus précises de grêle, de pluies verglaçantes, de pluies abondantes, de neige ou de tempêtes. Ce qui permet de faire évacuer les zones à risques relativement longtemps à l'avance, et donc d'éviter des catastrophes naturelles qui pourraient coûter la vie à de nombreuses personnes.

2.2.11.3. RADAR conventionnel

Les RADARs conventionnels sondent l'atmosphère avec un faisceau polarisé horizontalement. Les RADARs à double polarisation utilisent un faisceau qui est alternativement polarisé verticalement puis horizontalement. En plus de donner la réflectivité et la vitesse radiale des précipitations, ils peuvent extraire la forme des hydrométéores ainsi que différentes autres informations à partir des corrélations entre les deux signaux de retour. Les programmes de modernisation des RADARs météorologiques des années 2000 prévoient en général incorporer cette fonctionnalité pour reconnaître directement le type de précipitations et éliminer les artefacts de façon plus efficace.

2.2.12. Source d'erreur de RADAR

Le RADAR est le seul système d'observation météorologique permettant d'observer en temps réel la structure spatiale du champ de précipitations. L'estimation quantitative du taux de précipitations est cependant affectée par différentes sources d'erreur. Certaines erreurs affectent les mesures de réflectivité et d'autres, les estimations de précipitations dérivées de ces mesures de réflectivité. Enfin, lorsque les données RADAR sont utilisées pour calculer le cumul de précipitations sur une certaine durée, certaines erreurs peuvent apparaître en raison de l'échantillonnage temporel limité du RADAR [13].

En plus de la pluie, de la neige, du verglas et autres précipitations, le RADAR météorologique peut recevoir des échos provenant d'autres sources. Les principaux polluants des données sont:

- Les oiseaux, surtout en temps de migration.
- Les insectes à très basse altitude.
- Les leurres électroniques que peuvent laisser tomber des avions militaires.
- Les obstacles solides comme les montagnes, les édifices, les avions.
- La réflexion venant de plans d'eau à angle rasant.

2.2.13. RADAR météorologique et recherche scientifique

Au fil des ans, les RADARs météorologiques sont devenus des instruments incontournables pour comprendre la dynamique et la microphysique des systèmes précipitant à haute résolution spatio-temporelle.

Ils ont bénéficié ces dernières décennies d'importants progrès technologiques (avènement du numérique, exploration volumique, capacité doppler, double polarisation) qui permettent l'amélioration de produits existants (estimation quantitative des précipitations notamment) et le développement de produits nouveaux.

Les RADARs météorologiques présentent également un intérêt capital dans la recherche scientifique pour un ensemble de domaines assez variés, dont:

- L'observation des hydrométéores : avec des progrès attendus sur la quantification des précipitations neigeuses et la distinction des hydrométéores (pluie, neige mouillée, neige sèche, grêle,...).
- La prévision immédiate : le couplage des extrapolations à 1 h des lames d'eau radar observées à une modélisation numérique courte échéance devrait améliorer très significativement la prévision des phénomènes de pluie intense.
- La compréhension et la modélisation des processus physiques des systèmes précipitant.
- La climatologie : avec l'établissement de chronique de lames d'eau spatialisées à résolution spatiale kilométrique.
- L'assimilation des données RADAR dans des modèles numériques de prévision à méso-échelle de mailles plus en plus fines.

Conclusion

Le moyen d'observation présentée dans ce chapitre fournit des informations sur la scène météorologique observée. Nous sommes parlé de RADAR météorologique, il est devenu un instrument d'investigation et de mesure indispensable en physique de l'atmosphère, le RADAR permet de localiser et de suivre le déplacement des nuages, ainsi que les mesures de vent obtenues à partir des RADARs météorologiques fonctionnant en mode Doppler.

Le chapitre suivant, nous allons présenter le deuxième instrument qui est le satellite MSG

Introduction

En générale, la série des satellites géostationnaires Météosat, permet d'observer tout le disque terrestre dans lequel se trouvent les continents européens et africains. Ce type d'observation a conduit à mesurer les luminances réfléchies par le système terre - atmosphère, à des heures très différentes pour l'ensemble des points d'une image, et ce quasiment au même instant. Le premier grand domaine concerné par ce type de données, est celui de la Météorologie. En effet, Les Centres Météorologiques sont, pour la plupart, équipés de stations de réception des images Météosat et assurent leur diffusion en vue de diverses applications telles que la confection des flashes d'informations météorologique diffusés par les chaînes de télévision et les études scientifiques effectuées sur l'atmosphère, les changements climatiques, la pluviométrie ou le gisement solaire.

Dans ce chapitre, nous allons parler de satellite météorologique spécifiant le satellite second génération, leurs composants, son fonctionnement et leurs missions principales.

3.1. Satellite météorologie

3.1.1. Définition

Les satellites météorologiques sont des plates-formes en orbite à partir desquelles des instruments peuvent détecter le rayonnement et l'énergie thermique de l'atmosphère et des surfaces sous-jacentes. Les satellites météorologiques sont devenus indispensables à la fois pour la climatologie et la météorologie, ils constituent un système perpétuel d'observation de l'atmosphère terrestre. Ils permettent de générer des images de la planète entière sur une base complètement opérationnelle. En plus de renvoyer des images vers la Terre, les satellites météorologiques peuvent déterminer la température et le contenu de vapeur d'eau à diverses altitudes dans l'atmosphère. Ils peuvent aussi surveiller la couche d'ozone et détecter des particules d'énergie dans l'environnement de l'espace. Les observations satellitaires constituent un apport essentiel aux systèmes de prévisions météorologiques numériques et aident également les prévisionnistes à reconnaître le développement de phénomènes météorologiques susceptibles de causer des sinistres [14].

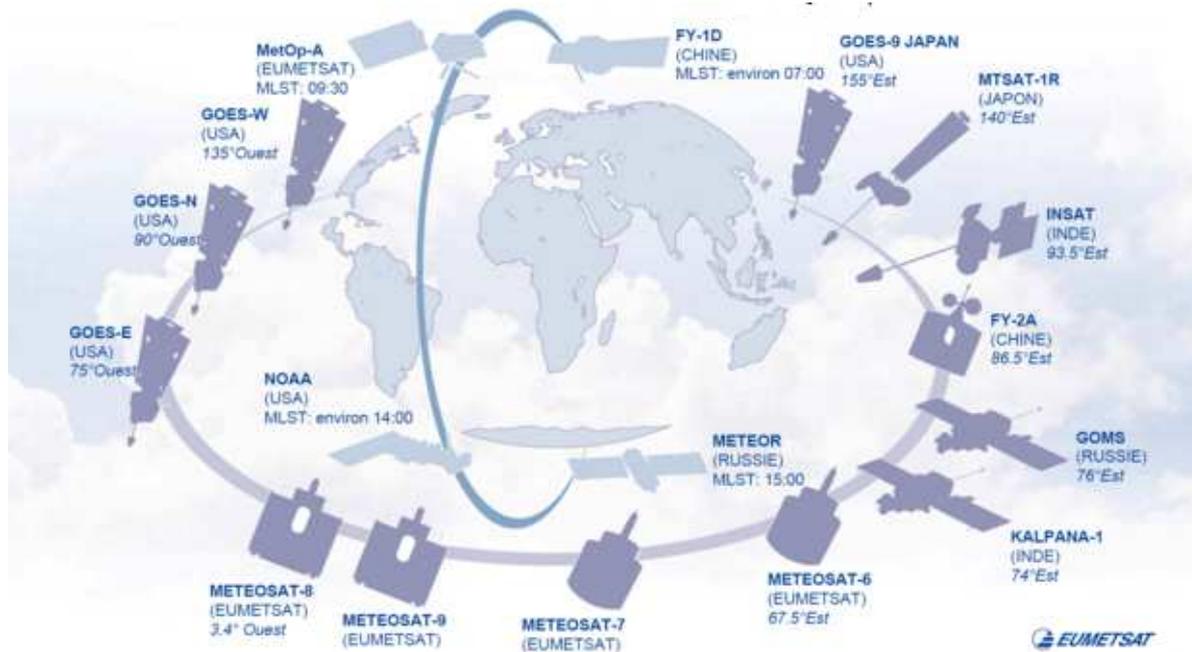


Figure2.8:Le système mondial d'observation météorologique.

3.1.2. Satellite Meteosat

Les satellites Meteosat sont des satellites européens dont le propriétaire et l'opérateur sont EUMETSAT. La première utilisation de ses images est évidemment destinée à la prévision météorologique. Cependant d'autres utilisations sont facilement envisageables. Ils ont une vitesse de rotation angulaire identique à celle du globe terrestre, ce qui fait qu'ils sont immobiles au-dessus d'un point unique de la terre : ce sont des satellites géostationnaires (Figure2.9). Ils sont situés à environ 36000 km d'altitude au-dessus de l'équateur. Le champ visuel couvre l'Afrique, l'Europe et les extrémités de l'Asie et de l'Amérique méridionale. Les images acquises couvrent toujours la même zone du globe terrestre durant un intervalle de temps fixé à l'avance.

La série de satellites géostationnaires de Meteosat a été en orbite pendant 23 années et est continuée actuellement par la deuxième génération de Meteosat (MSG) pour au moins 12 à 15 années.

La mission principale des satellites Météosat est d'acquérir des images des systèmes nuageux, jour et nuit, de façon à permettre aux météorologues d'effectuer les prévisions quotidiennement. Les données transmises sont également essentielles pour anticiper les phénomènes météorologiques extrêmes comme les tempêtes, les orages violents, les inondations et pour suivre l'évolution du climat de la planète sur le long terme.

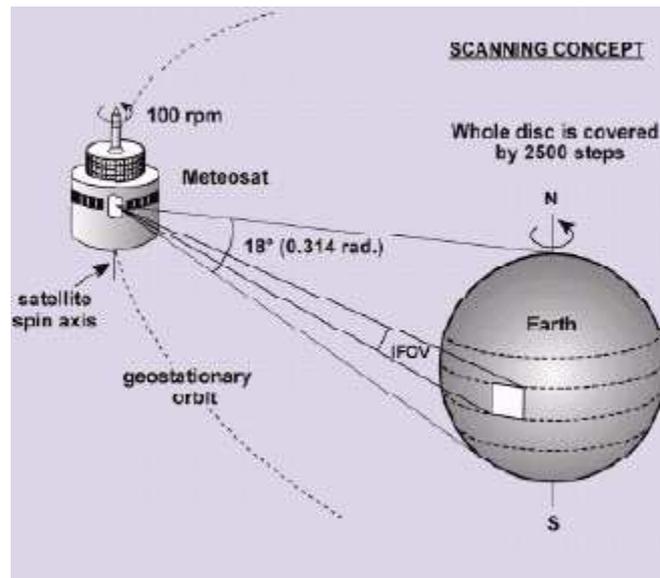


Figure2. 9: : Concept du satellite METEOSAT (source EUMETSAT [Eumet]).

3.2. Nouvelle Génération de satellite Meteosat MSG

Près de vingt-cinq ans après le lancement du tout premier satellite Météosat, en novembre 1977, le premier exemplaire de la seconde génération de satellites européens de veille météorologique MSG-1 a été mis en orbite le 28 août 2002 par le lanceur européen Ariane 5 qui a décollé du CSK (Centre Spatial de Kourou), en Guyane française. Ce satellite devenu opérationnel le 9 janvier 2004 et prend alors le nom de Meteosat8.

Puis c'est au tour de MSG-2 (Figure2.10) d'être lancé le 22 décembre 2005, avant d'être déclaré en service en juillet 2006 sous le nom de Meteosat9. Le lancement des deux derniers satellites du programme Météosat Seconde Génération était en 2012 pour MSG-3 et en 2014 pour MSG-4.

Construits par ASI (Alcatel Space Industries) avec la participation d'une équipe de plus de 50 pour le compte d'EUMETSAT, organisation européenne d'exploitation des satellites météorologiques. Deux fois et demie plus gros que leurs prédécesseurs, ce sont des satellites cylindriques de 3,22 mètres de diamètre pour 3,74 mètres de haut. Au décollage, leur masse atteint 2 tonnes, dont près de la moitié constituée par les ergols nécessaires à leur mise et leur maintien à poste pendant les 7 années que dure en théorie leur mission. Les satellites MSG, équipés de nouveaux capteurs plus puissants et plus précis pour l'observation en continu de l'atmosphère terrestre, vont engranger jusqu'à l'horizon 2015-2020 une multitude de données indispensables à la compréhension et à la modélisation des activités climatiques de notre planète. La veille météorologique menée avec succès par les satellites Météosat depuis plus de

30 ans se poursuit [15].

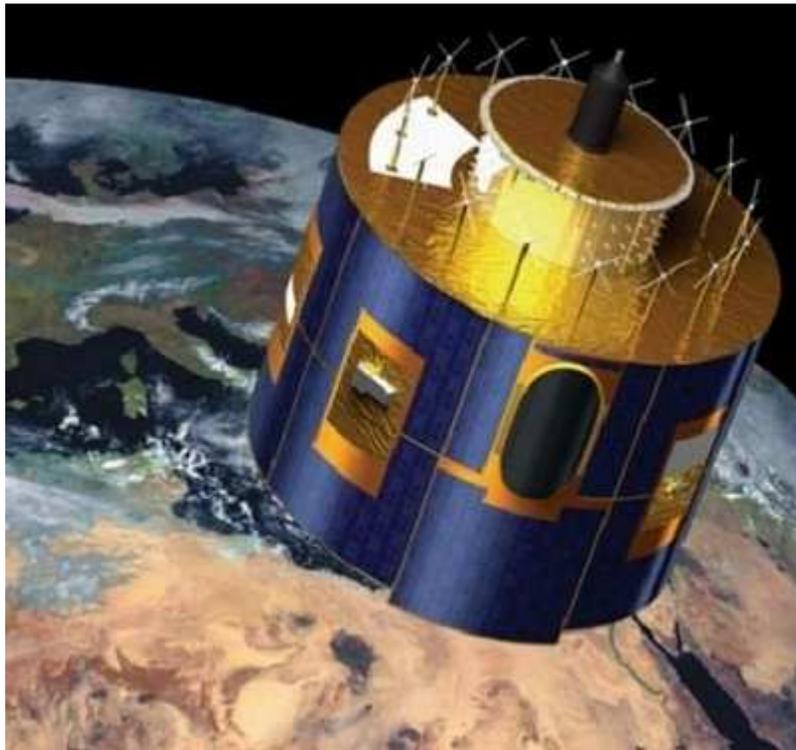


Figure2. 10:Satellite MSG.

Les satellites Météosat de Seconde Génération permettent d'obtenir des images dans un plus grand nombre de longueurs d'ondes, à une résolution spatiale plus fine et à une fréquence plus élevée que la génération précédente.

Les principales améliorations de MSG tiennent aux trois instruments qu'ils emportent : le radiomètre SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager IR) décrit dans le paragraphe suivant, l'instrument géostationnaire de détermination du bilan radiatif de la Terre GERB (Geostationary Earth Radiation Budget Experiment), ainsi qu'un répéteur de «recherche et sauvetage» qui seront détaillés dans le paragraphe Missions élargies.

3.3. Instruments des satellites MSG

Un radiomètre est un instrument de télédétection passive constitué d'un récepteur (téléscope en visible et en infrarouge, antenne en micro-ondes), d'un moyen de filtrage, d'un détecteur de rayonnement et d'un système d'analyse et d'enregistrement du signal. Les imageurs et les sondeurs spatiaux reposent sur l'emploi de radiomètres. Le radiomètre mesure, dans une bande spectrale sélectionnée par le filtrage, la puissance du rayonnement provenant de la zone de visée (en watts). De là, on accède aisément à l'éclairement énergétique (souvent dénommé irradiante ou radiance) reçu par le radiomètre et qui s'exprime en w/m^2 . Pour l'imageur de Météosat, par exemple, le radiomètre balaie successivement chaque élément (ou

pixel) de l'image. Dans le canal infrarouge, le radiomètre mesure pour chaque pixel la radiance de l'atmosphère dans la bande spectrale 10-13 μm . En présence de nuages assez épais, on sait que cette radiance est liée à la température du sommet des nuages dans le pixel considéré [16].

Les deux instruments principaux du satellite sont les radiomètres SEVIRI et GERB.

3.3.1. Radiomètre GERB

Le radiomètre GERB fournit des données essentielles sur le bilan radiatif de la Terre, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie reçue du Soleil par notre planète et la quantité d'énergie rayonnée en retour. Ce bilan radiatif, encore largement mal connu, joue un rôle crucial dans l'équilibre climatique de la planète.

Le rapport signal-bruit qui était élevé avec celui de METEOSAT, a été amélioré sur MSG-1 grâce à l'élargissement des bandes spectrales.

3.3.2. Radiomètre SEVIRI

L'instrument principal dans le satellite MSG est le radiomètre imageur nommé SEVIRI [17], constitué de douze canaux spectraux. SEVIRI transmet des images de tout le disque terrestre à une résolution de 3kms dans tous les canaux, à l'exception du canal visible haute résolution (HRV) qui couvre la moitié de disque avec une résolution de 1 km. Sur les 12 canaux, quatre sont consacrés pour le visible dont un est le HRV qui fournit des images d'une grande utilité pour détecter les situations météorologiques dangereuses ,et huit dans l'infrarouge dans des différentes longueur d'ondes, apportant de très nombreuses informations sur l'état de l'atmosphère, qui était alors difficilement détectable par l'ancienne génération. Les canaux infrarouges fournissent des informations concernant la température des nuages, de la terre, de la surface de mer, l'ozone, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. Le tableau ci-dessous donne plus d'informations sur les caractéristiques des 12 canaux de SEVIRI.

Tableau2. 4: Caractéristiques de radiomètre SEVIRI.

Canal	Bandes spectrales (μm)			Utilisations
	λ_{cen}	λ_{min}	λ_{max}	
VIS0.6	0.635	0.56	0.71	Détection, identification et évolution des nuages, observation des aérosols, suivis de la végétation Albédo de surface
VIS0.8	0.81	0.74	0.88	
NIR1.6	1.64	1.50	1.78	Différenciation entre neige et nuage, nuages de glace et d'eau liquide, information sur les aérosols.
IR3.9	3.90	3.48	4.36	Détection des nuages bas et le brouillard de nuit, des feux de forêt.
WV6.2	6.25	5.35	7.15	Vapeur d'eau de la moyenne et haute troposphère, suivi de la dynamique atmosphérique, hauteur des nuages semi-transparents.
WV7.3	7.35	6.85	7.85	
IR8.7	8.70	8.30	9.10	Détection des cirrus fins, distinction entre les nuages de glace et d'eau liquide.
IR9.7	9.66	9.38	9.94	Radiance de l'ozone pour assimilation en prévision numérique, évolution du champ total d'ozone.
IR10.8	10.80	9.80	11.80	Mesure de la température de surface de la terre et de la mer, détection des cirrus et déduction des quantités d'eau précipitable au-dessus de la mer.
IR12.0	12.00	11.00	13.00	
IR13.4	13.40	12.40	14.40	Amélioration de la détermination du facteur de transmission des cirrus, information sur la

		température de la basse troposphère dépourvue de nuages pour les évaluations d'instabilité.
HRV	A large bande (0.4 - 1.1)	Détection, identification et un suivi des nuages plus précis. Texture des nuages.

Pour chaque pixel, le radiomètre SEVIRI mesure l'énergie radiative dans les différentes bandes spectrales. Ces dernières sont les bandes visibles, vapeur d'eau et l'infrarouge thermique.

Le positionnement des 12 canaux de SEVIRI dans ces trois bandes est résumé par la figure suivante :

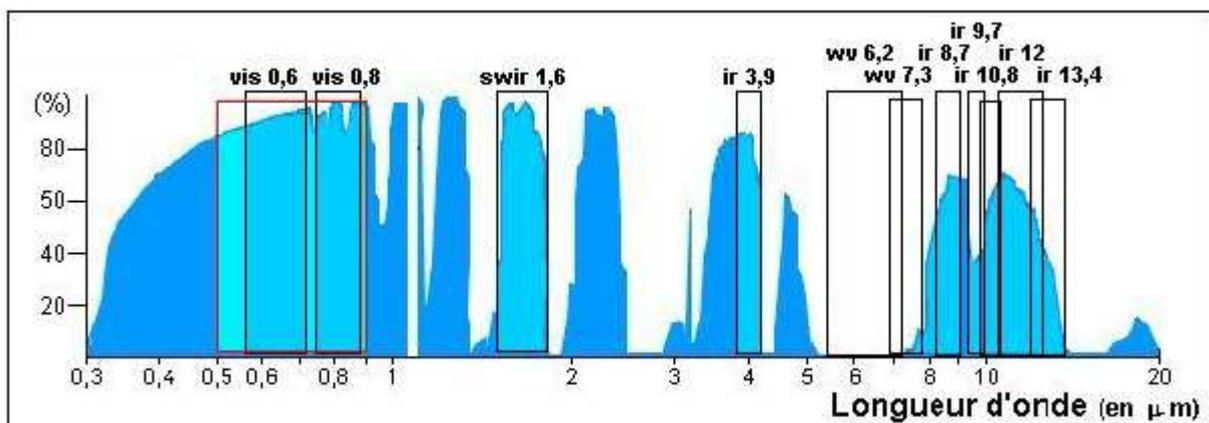


Figure2. 11: Distribution du rayonnement dans les 12 canaux de SEVIRI.

3.3.2.1. Canaux visibles

Les canaux visibles sont : (VIS 0.6, VIS 0.8, NIR 1.6 et HRV)

Les images visibles représentent la quantité de lumière visible rétro diffusée par les nuages ou la surface de la terre. Les nuages et la neige apparaissent en blanc et les zones sans nuages en noir. Les nuages épais sont plus brillants que les nuages fins. Il est difficile de distinguer les nuages bas des nuages élevés. Pour cela, il faut utiliser les images infrarouges.

Les images visibles sont complètement noires pendant la nuit et ne peuvent ainsi être utilisées.

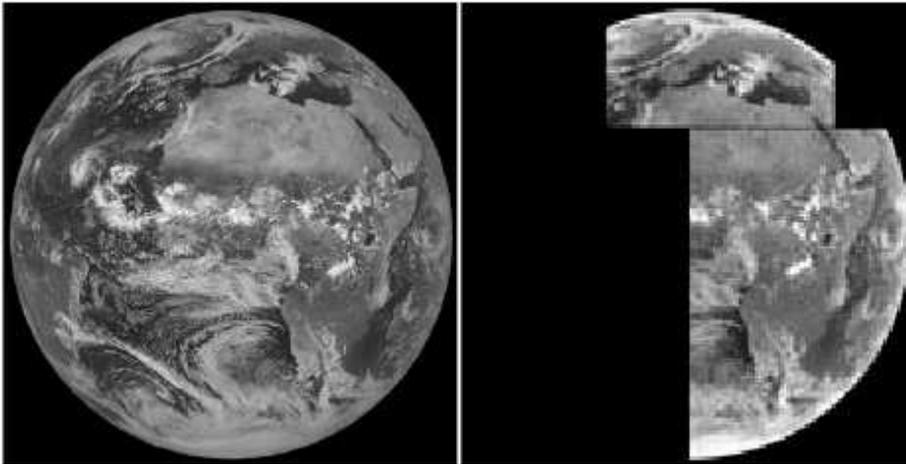


Figure2. 12:Images dans le canal visible HRV à droite et 0.6 μm à gauche.

3.3.2.2. Canaux infrarouges

Les canaux infrarouges sont : (3.9, 8.7, 9.7, 10.8, 12.0 et 13.4).

Les images infrarouges représentent une mesure du rayonnement infrarouge émis par le sol ou les nuages. Ce rayonnement dépend de la température. En mode inversé, plus l'objet est chaud, plus il est noir et plus l'objet est froid, plus il est blanc (figure 2.13). Les nuages élevés apparaissent plus blancs que les nuages bas car ils sont plus froids. Dans les zones sans nuages, plus le sol est chaud, plus il est sombre.



Figure2. 13:Image prise dans l'IR 10.8 μm .

3.3.2.3. Canaux vapeur d'eau

Les images «vapeur d'eau» représentent une mesure du rayonnement infrarouge influencée par la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cela permet de déterminer les zones sèches et les zones humides. Lorsque l'atmosphère est pauvre en vapeur d'eau, les rayons infrarouges la traversent et parviennent au capteur WV de Météosat Seconde Génération. Au contraire

plus l'atmosphère est chargée de vapeur d'eau moins ils la traversent [18].



Figure 2. 14: Images de canal vapeur d'eau $6.2 \mu\text{m}$ à gauche et $7.3 \mu\text{m}$ à droite.

3.4. Transmission des images MSG

Le radiomètre imageur SEVIRI balaie la surface terrestre ligne par ligne d'est en ouest d'une manière à produire une nouvelle image multi-spectrale toutes les 15mn. L'acquisition des images est assurée en combinant la rotation de satellite autour de son axe et celle du miroir de balayage.

Le satellite tourne à 100 tours par minute autour d'un axe parallèle à l'axe Nord-Sud de la terre. Le télescope du radiomètre SEVIRI vise la terre par l'intermédiaire d'un miroir et balaie à chaque révolution du satellite une bande étroite de la surface de la terre. L'angle de balayage correspondant à 18° . Il est décrit en 30 ms. Pendant les 570 ms suivantes, le télescope vise l'espace et cette durée est mise à profit pour modifier l'orientation du miroir de façon qu'au tour suivant, il balaie au sol une bande contiguë à la précédente mais plus au nord de 3kms. Le balayage d'une ligne d'est en ouest est assuré par la rotation du satellite. Le balayage du sud au nord est réalisé par un mouvement pas à pas d'un miroir de balayage couvrant le disque terrestre d'environ 1250 tours, ceci fournit 3750 lignes de l'image pour les 11 canaux disposant de 3 détecteurs pour chacun. Pour le HRV, 9 détecteurs sont utilisés pour le balayage d'une ligne. Pour fournir une image plein disque, le télescope balaie la totalité de la surface de la terre en 12 mn et 30 s. Les 2 mn 30 s suivantes sont consacrées au retour du miroir à sa position initiale, et il reprend le balayage de l'image suivante. La phase de non acquisition des images est consacrée au calibrage des canaux infrarouges par référence au rayonnement du corps noir inséré dans le chemin optique de télescope. Chaque 15 mn, le satellite produit une image de 3712 lignes et de 3712 pixels codée sur 10 bits dans les 11

canaux, et une image de 11136×5568 pixels pour le HRV [19].

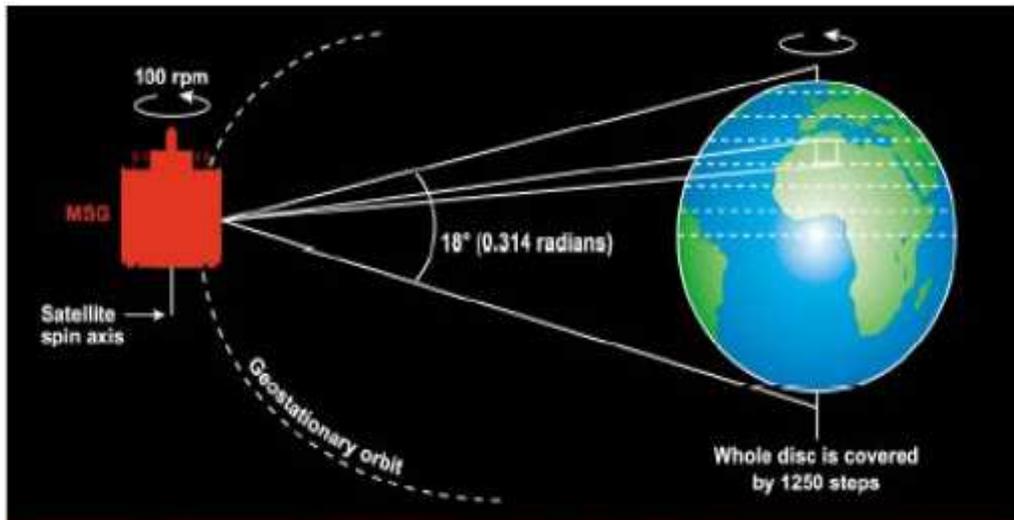


Figure2. 15:Principe de prise l' image par le radiomètre SEVIRI.

Les images brutes collectées par le satellite MSG sont des images de niveau 1.0 qui se transforment en images de niveau 1.5, après traitement et correction géométrique de toutes les perturbations introduites par le satellite. Le satellite MSG reçoit les données envoyées par la plateforme de collection de données (DCP) [20]. Puis, il les transmet à la station au sol PGS (Global Positioning System) située à Usingen en Allemagne. Ces données sont traitées au centre de contrôle spécifique MCC (Mission Control Center) au siège d'Eumetsat à Darmstadt en Allemagne, puis retransmises aux utilisateurs, soit via le système mondial de télécommunication (GTS) de l'organisation mondiale de la météorologie (OMM), soit via EUMETCast, le système de distribution de données d'EUMETSAT [21], ou par le service LRIT (Low Rate Information Transmission). Le service LRIT transmet des données de faible débit (128 kb/s) aux stations de réception de faible débit LRUS (Low Rate User Station) qui reçoivent trois à cinq images dans les canaux de SERIVI, par cycle de 30 minutes dans les 15 minutes qui suivent l'observation.

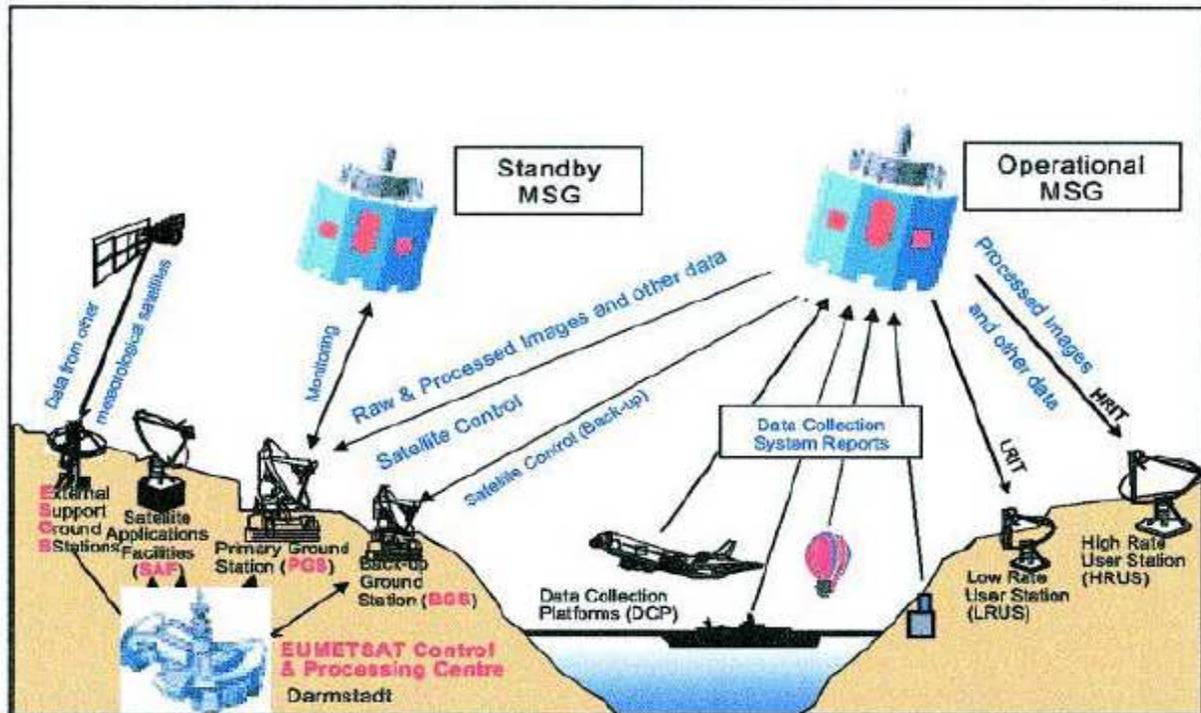


Figure2. 16: Système de collecte et de diffusion de données MSG.

3.5. Variation de la résolution spatiale

Le balayage des cibles se fait avec un angle constant, et avec la sphéricité de la terre, cela implique que le radiomètre balaye loin du point sous le satellite, donc la surface couverte par les pixels est plus grande que la surface du pixel du point sous le satellite. Les figures (Figure2.17), (Figure2.18) et (Figure2.19) montre la variation de la résolution spatiale des pixels pour les canaux Infrarouges en fonction des coordonnées géographiques.

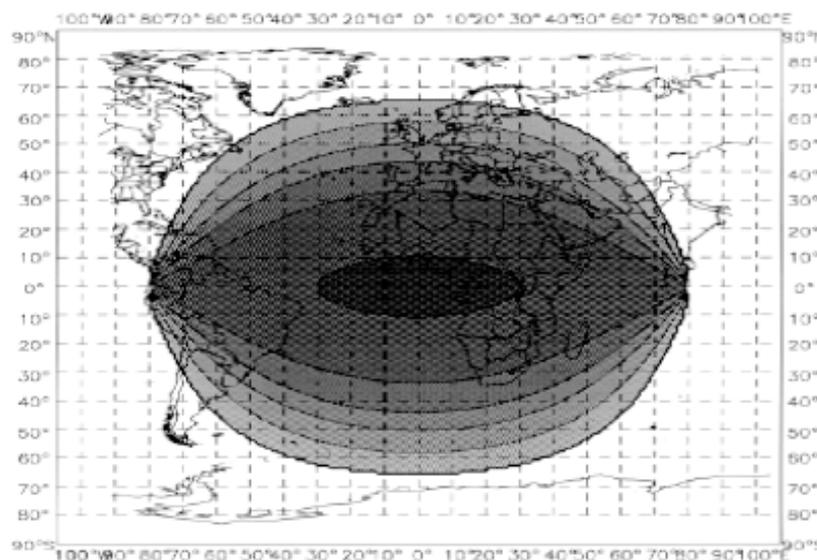


Figure 2. 17 Résolution de l'image MSG en direction Nord-Sud.

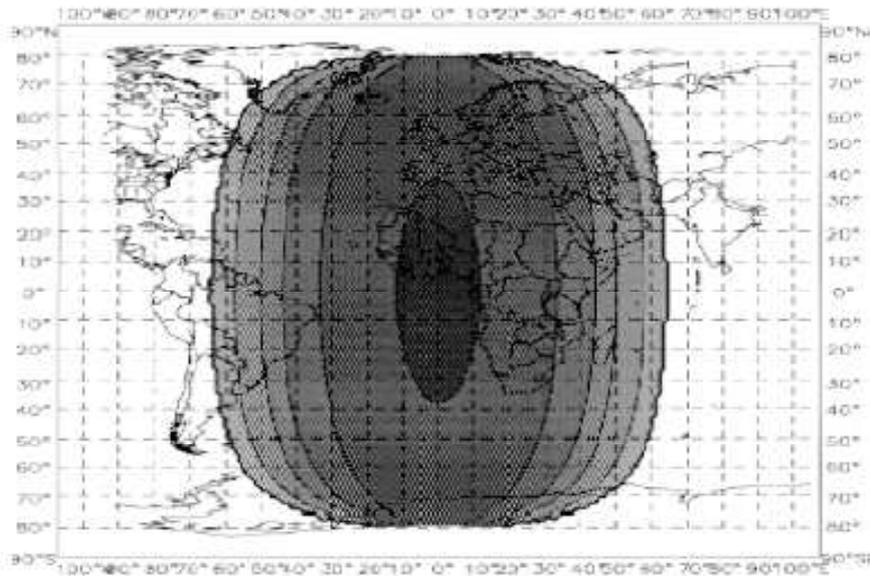


Figure2. 18 Carte de résolution de l'image MSG en direction Est-Ouest.

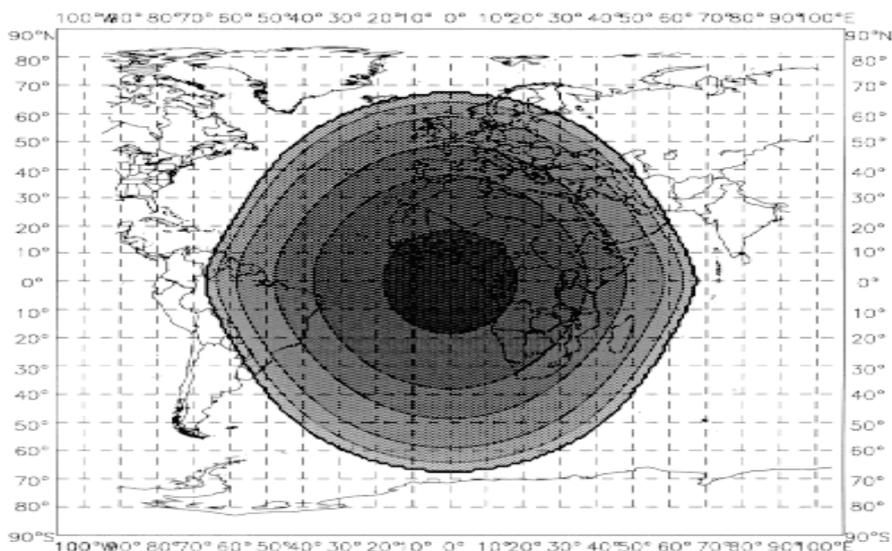


Figure2. 19: Carte de fluctuation de taille des pixels pour MSG.

Légende : Le gris foncé correspond à 3.1Km, moins foncé à 4Km, 5Km, 6Km, 8Km et 11Km respectivement.

3.6. Images Météosat Seconde Génération

Le satellite MSG a pour mission de transmettre vers la terre en temps réel une scène enregistrée dans 12 canaux du visible, de l'infrarouge moyen et de l'infrarouge thermique toutes les 15 minutes. Il permet d'avoir une vue de plus en plus détaillée sur l'atmosphère de l'Europe et d'Afrique. Les images fournies par le satellite MSG sont de bonne qualité. Ce sont des images en niveaux de gris codées sur 8 bits. Le tableau (2.5) décrit les propriétés de ces

images. Il affiche le nombre de pixels par ligne et le nombre de lignes par image, le champ total d'observation ainsi que la résolution spatiale au point sous-satellite [22].

Tableau2. 5: Principales caractéristiques des images MSG.

Paramètre	Bandes spectrales (longueur d'onde exprimée en μm)											
	HRV	VIS 0.6	VIS 0.8	SWIR	IR 3.9	WV 6.2	WV 7.3	IR 8.7	IR 9.7	IR 10.8	IR12	IR 13.4
Domaine de longueur d'onde	VIS 0.5- 0.9	VIS 0.6- 0.7	VIS 0.7- 0.9	IR 1.5- 1.8	IR 3.5- 4.4	IR5.3- 7.1	IR 6.8- 7.9	IR 8.3- 9.1	IR 9.4- 9.9	IR 9.8- 11.8	IR11- 13	IR12. 4-14
Résolution spatiale au point sous-satellite	1km	3km	3km	3km	3km	3km	3km	3km	3km	3km	3km	3km
Nombres de lignes par l'image	11136	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712
Nombres de pixels par lignes	5568	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712	3712
Champs total d'observation	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km	11200 km

3.7. Taille des images MSG

Pour connaître la taille (en octets) d'une image, il est nécessaire de compter le nombre de pixels que contient l'image. Cela revient à calculer la hauteur de celle-ci que multiplie sa largeur. La taille d'un fichier image T_i en octet est donné par l'équation suivante :

$$T_i (\text{Octet}) = \text{nombre de lignes par image} \times \text{nombre de pixels par lignes}$$

A titre d'exemple, la taille des données fournies par le MSG durant un quart d'heure selon les données du tableau 2 :

✓ Pour le canal HRV : $T_i (\text{octet}) = 11136 * 5568 \text{ octet} = 62\,005\,248 \text{ octet}$, Soit 59.1328 Mo.

- ✓ Pour les 11 canaux restant : T_i (octet) = $(3712 * 3712) * 11 = 151\,568\,384$ octet, Soit 144.5469 Mo.

La taille totale des données récoltées est alors de :

- 203.6797 Mo durant 15 minutes.
- 814.7188 Mo durant une heure.
- 19.09 Go durant 24 heures.

3.8. Structure des fichiers LRIT/HRIT

Chaque donnée distribuée aux utilisateurs par le système de dissémination MSG est incluse dans un fichier LRIT (Low Rate Information Transmission)/HRIT (High Rate Information Transmission). Un fichier HRIT/LRIT se compose d'un ou de plusieurs champs d'en-tête, et d'un seul champ de données. Le premier en-tête est obligatoire et définit le type et la taille complète du fichier HRIT/LRIT et suivant le type du fichier, un ou plusieurs en-têtes peuvent être nécessaires pour donner plus d'information sur le fichier.

3.8.1. Transmission en LRIT

Elle contient seulement une partie de l'ensemble des données ou un ensemble de données compressées. Elle est destinée pour des utilisateurs ayant des moyens limités pour l'acquisition et le traitement :

- Petits centres nationaux de prévision.
- Universités.
- Compagnies commerciales
- Particuliers

3.8.2. Transmission en HRIT

Elle contient toutes les informations issues du satellite. Elle est nécessaire pour les centres de prévision régionale de zone, centres de prévision numérique et laboratoires de recherches. Les fichiers de données sont divisés en huit segments, et chaque segment forme un fichier séparé compressé.

Le disque complet de la terre de MSG SEVIRI de niveau 1.5 image est d'une taille de :

5568 x 11 136 pixels pour le canal visible à haute résolution.

3712 x 3712 pixels pour les autres 11 canaux.

Avec :

24 fichiers images segments pour le canal visible à haute résolution (464 lignes de balayage de 11 136 pixels).

8 fichiers images segments pour les autres 11 canaux (464 lignes de 3712 pixels).

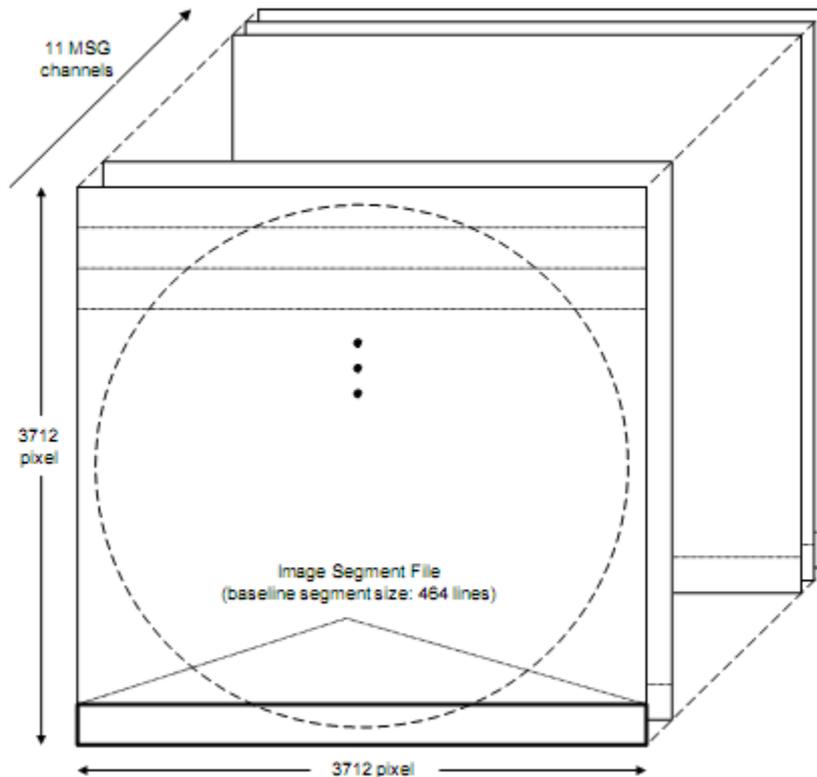


Figure 2. 20: Structure d'un fichier image MSG LRIT/HRIT des 11 canaux SEVIRI.

3.9. Compression des segments :

La compression des segments est nécessaire pour permettre la transmission de l'ensemble de données par la HRIT et de maximiser la quantité des données disponible sur la LRIT.

Une méthode de compression sans perte de données est utilisée, appelée Wavelet Transform (WT), ceci pour assurer la transmission rapide et complète en temps réel des données satellites.

La compression s'opère juste sur le champ de données du fichier HRIT/LRIT.

Chaque fichier image HRIT/LRIT se compose :

Un fichier prologue : c'est un fichier qui vient au début de la dissémination des données image.

Il comporte des informations sur :

- L'état du satellite.
- L'acquisition de l'image.
- La description de l'image.
- Le traitement radiométrique et géométrique.
- Les coefficients de correction.

- D'autres informations transmises avec les images qui peuvent être venir des autres satellites.

Un fichier épilogue : il est réservé uniquement pour les données image MSG SEVIRI niveau 1.5 à la fin de cycle de la prise d'image, car il peut exister d'autres informations transmises par le satellite. Il contient des informations sur :

- L'état de la constitution de l'image.
- Les résultats de navigation spatiale du satellite (les paramètres orbitaux).
- La qualité radiométrique et géométrique.
- La complémentarité de l'acquisition de l'image.

Un fichier de données : ce fichier contient les données de l'image en format binaire (Un compte numérique de 0 à 1023 pour chaque pixel).

Ceci est un exemple d'un groupe de segments formant une image dans le canal IR.108 avec les fichiers épilogue et prologue de ce cycle d'acquisition de 1200 TU pour le 30/04/2016.

```
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000001__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000002__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000003__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000004__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000005__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000006__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000007__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ -IR_108__ -000008__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____ - _____ -EPI _____ -201604301200-__
H-000-MSG2__-MSG2_____ - _____ -PRO _____ -201604301200-__
```

3.10. Temps d'envoi d'un fichier

La taille du fichier influe de manière proportionnelle sur la durée de transmission ou de réception sur des réseaux caractérisés par un faible débit. Plus le fichier est volumineux, plus la durée est importante. On suppose que le fichier est envoyé de façon continu en un seul message.

- ✓ La durée d'envoi T_{upload} (en secondes) pour transmettre un fichier de taille T_i bits (taille totale des données initiale), avec une vitesse d'envoi (upload) exprimé en bits/s est calculé en utilisant l'équation :

$$T_{upload} = \frac{T_i}{upload}$$

Sur un réseau de transmission avec un débit de 512 Kbits/s, la durée nécessaire pour l'envoi des données images de taille 59.1328 Mo est :

$T_{upload} = (8 * 1024 * 1024 * 59.1328) / (512 * 1024) = 946.1248$ s (environ **15 min 46 s** pour uploader un fichier image du canal HRV de **59.1328 Mo**).

3.11. Compression des données Météosat

L'utilisation des données images Météosat avec leur taille réelle, nous confrontons à des contraintes de transmission sur des réseaux à faible débit, et de stockage qui exige un espace important malgré l'ascension de la technologie utilisée. La puissance des processeurs augmente plus vite que les capacités de stockage, et énormément plus vite que la bande passante des réseaux, car cela demande d'énormes changements dans les infrastructures de télécommunications [23].

Ainsi, pour pallier ce manque, il est important de réduire la taille de ces données en exploitant la puissance des processeurs plutôt qu'en augmentant les capacités de stockage et de transmission des données. Pour cela, il existe plusieurs méthodes de réduction, tout en prenant en considération leurs avantages et leurs inconvénients. Chaque méthode de compression dépend du type de données à compresser et s'impose quel que soit l'évolution du matériel utilisé [24].

3.12. Missions principales du système MSG

Avec les satellites Météosat Seconde Génération, la mission principale reste bien entendu toujours la même, à savoir, améliorer les prévisions météorologiques quotidiennes et anticiper les phénomènes violents.

Cependant les données plus nombreuses, à la fois spectralement et temporellement et de meilleure résolution spatiale, vont permettre aux chercheurs d'acquérir de meilleures connaissances des processus physiques gouvernant le climat, mais aussi des phénomènes naturels et ainsi, d'affiner et de diversifier les missions.

Un ensemble de six missions principales et deux complémentaires a été clairement défini dans le cadre du Programme Météosat Seconde Génération :

✓ Mission d'imagerie multi spectrale

La mission d'analyse des masses d'air doit utiliser les caractéristiques spectrales des canaux centrés sur la bande d'absorption de la vapeur d'eau, du gaz carbonique et de l'ozone pour surveiller l'état thermodynamique de l'atmosphère dans les basses couches.

✓ Mission d'imagerie à haute résolution

La mission d'imagerie à haute résolution (1 km au nadir) dans le visible doit permettre de caractériser et de suivre l'évolution des phénomènes nuageux de faible étendue spatiale, tels que les nuages convectifs.

✓ Mission d'extraction des produits

La mission d'extraction des produits permettra, à partir des jeux de données images d'origine, de fournir des produits météorologiques et géophysiques dérivés en temps quasi-réel, comme les vents, les températures de surface de la mer et des sols, des indices d'instabilité des masses d'air, les brouillards, des indices de végétation, etc. A tous ces produits viennent également s'ajouter ceux élaborés par le réseau des Centres d'applications satellitaires SAF.

✓ Mission de collecte des données

La mission de collecte des données consiste à recueillir et relayer les données et autres mesures environnementales transmises par des plates-formes automatisées (bouées marines, balises terrestres, aéroportées, etc.).

✓ Mission de dissémination

La mission de dissémination est une mission de télécommunication, puisqu'elle a pour objectif de transmettre les images et autres données météorologiques aux diverses communautés d'utilisateurs, en temps réel, via le service de distribution EumetCast. La diffusion sera réalisée à l'aide d'un canal de transmission d'informations à haut débit (HRIT pour High Rate Information Transmission) pour les principaux utilisateurs et les centres spécialisés. Un canal de transmission d'information à plus faible débit (LRIT pour Low Rate Information Transmission) assurera la dissémination des données images aux autres utilisateurs.

✓ Missions et services complémentaires

En complément des missions citées précédemment, les satellites Météosat Seconde Génération offrent également:

Un service de recherche et sauvetage, grâce à un répéteur GeoSAR qui retransmet immédiatement aux services d'urgence et d'intervention les signaux de détresse émis par des navires, avions ou tout autre appareil équipé d'une balise Cospas-Sarsat .

3.13. Segment sol

Les données acquises à bord des satellites météorologiques opérationnels sont immédiatement transmises à la station de réception, située à Usingen, en Allemagne. Les données sont ensuite relayées au centre de contrôle au siège d'Eumetsat, à Darmstadt, qui assure leur prétraitement, leur archivage, ainsi que l'extraction de produits météorologiques et géophysiques, avant la diffusion vers les services météorologiques nationaux des pays membres d'Eumetsat et les autres usagers, via le service EumetCast. Le centre de contrôle assure également les activités de télécommande du satellite et de contrôle de la mission. En plus de la station d'Usingen, le segment sol du système Eumetsat comprend une station sol de réserve dans le cas d'un besoin urgent de télécommande du satellite et une station sol de soutien qui assure l'acquisition et le prétraitement des données en provenance d'autres satellites météorologiques et leur relais vers le site central à Darmstadt. Des centres relais EumetCast assure la réception et la transmission des données vers les continents africain et américain.

Au segment de sol, on peut produire les paramètres météorologiques suivants à partir des données d'image:

- Vecteurs nuages et du vent
- Les températures de la surface de la mer
- Cartes avec la hauteur du sommet des nuages
- cartes montrant la répartition des nuages.
- des cartes montrant la distribution de vapeur d'eau dans la partie supérieure de la troposphère.
- données sur le bilan radiatif.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé au satellite second génération (MSG). L'objectif était la présentation du satellite de notre étude ainsi que celle des données utilisées dans ce cadre. Nous avons commencé par une description générale de satellites. Ensuite, nous avons présenté les dispositifs satellitaires, notamment le satellite Météosat, d'où proviennent les images sur lesquelles nous avons réalisé notre traitement.

Introduction

Ce chapitre comporte deux parties :

- RADAR : Dans cette partie, nous allons éliminer les échos fixes et visualiser les zones de précipitations.
- MSG : nous allons utiliser le compte numérique de HRV pour afficher l'image et les comptes numériques de IR, VIS0.6, VIS 0.8 et NIR1.6.

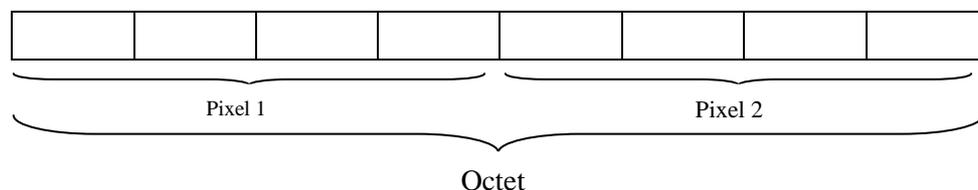
4.1. Traitement et exploitation des images RADAR

4.1.1.Format de l'image

Les données utilisées sont des images collectées par deux RADARs météorologiques placés dans les régions suivantes : Sétif et Annaba. Ces images ont été prises durant le mois d'Avril. Elles sont constituées par une matrice de 512 x 512 points qu'on appelle pixel, dont la résolution spatiale est de 1 Km. La valeur numérique que peut prendre chaque pixel et qui représente les niveaux de réflectivité de la cible, varie entre 0 à 255 selon le codage de la chaîne de numérisation utilisée SANAGA (Système d'Acquisition Numérique pour l'Analyse des Gains Africain).

Dans ce cas, les valeurs numériques sont entre 0 et 15.

Ces images sont codées sur un octet. Cet octet est divisé sur deux pixels.



4.1.2.Affichage de l'image

L'image produite passe par une opération qui est le calibrage qui consiste à corriger statistiquement les intensités de précipitations par rapport au réseau pluviométrique afin que l'image reflète au mieux la réalité. En définitive, on affectera à chaque intensité de précipitations une couleur significative et par ordre croissant. Enfin une légende graphique et affichée à côté de l'image qui permettra au prévisionniste d'estimer les quantités de précipitations probables et de suivre les cellules orageuses dans l'espace et dans le temps.

Les mesures de réflectivité pour les images des RADARs Algériens sont codées sur 16 niveaux de 4 en 4 dbz à partir du second niveau.

Tableau3. 1 : Correspondance niveau de réflectivité valeurs en dbz.

Niveau de réflectivité	Valeur en dbz
0	0
1	9
2	16
3	20
4	24
5	28
6	32
7	36
8	40
9	44
10	48
11	52
12	56
13	60
14	64
15	68

Les figures (3.1) et (3.2) représentent des images enregistrées par deux RADARs (échos fixes et les précipitations).

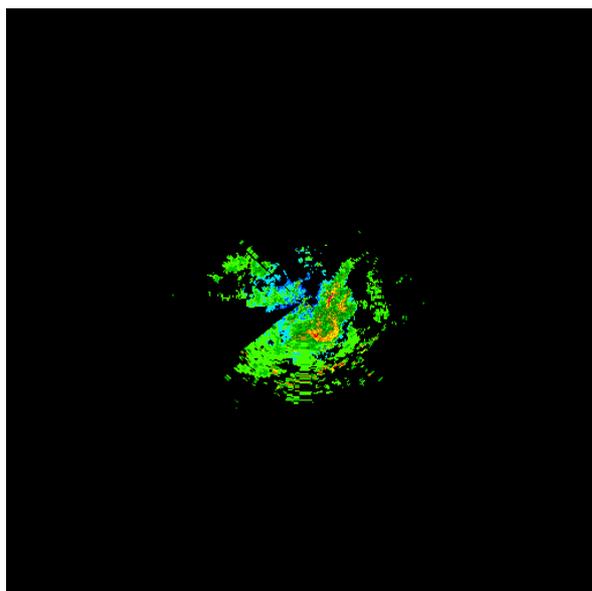


Figure3. 1: Image des échos RADAR d'Annaba.

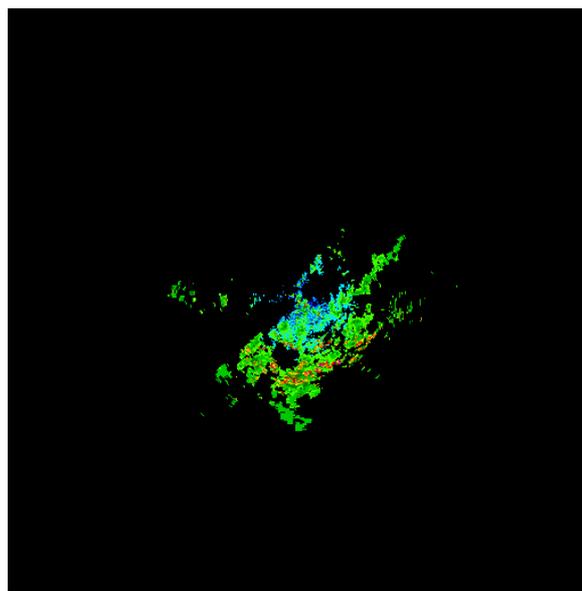


Figure3. 2:Image des échos RADAR Sétif.

La figure (3.3) représente une image composite des deux RADAR (échos fixes et les précipitations).

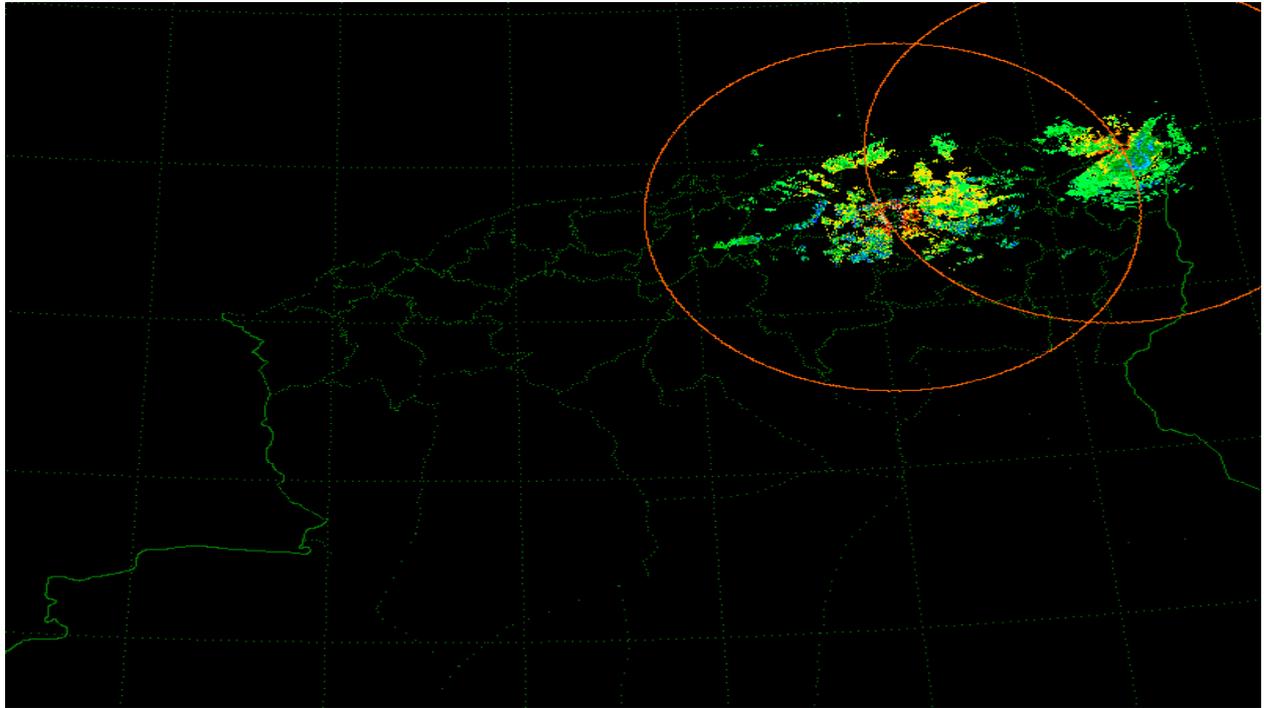


Figure3. 3: Image RADAR de Sétif et Annaba.

Les deux cercles représentent les zones couvertes par chaque RADAR.

Un premier algorithme est utilisé pour enlever les échos fixes, alors qu'un deuxième algorithme est ensuite utilisé pour convertir ces valeurs numériques en intensité de précipitations

4.1.3. Echos parasites

De façon générale, les images sont composées de divers échos résultant de la rétro diffusion des ondes électromagnétiques par tous les obstacles rencontrés par celles-ci. Pour étudier les échos atmosphériques, nous devons tout d'abord éliminer dans les images, tous les échos qui proviennent des obstacles. Pour cela, nous avons procédé par masquage.

Nous appelons écho la représentation d'un obstacle sur une image RADAR. Les échos parasites sont des retours venant de cibles qui ne sont pas, par définition, intéressants pour l'opérateur radar météo, ces échos indésirables ressembleront à des points très brillants.

- Bâtiments
- Montagnes

Les échos parasites sont considérés comme une source d'interférence passive, puisqu'ils ne sont détectés qu'en réponse aux signaux émis par le RADAR. Il existe plusieurs

façons d'éliminer ces échos. Plusieurs de ces méthodes reposent sur le fait que ces échos tendent à être stationnaires lors des balayages du RADAR. Ainsi, en comparant des sondages RADAR successifs, la cible désirée sera mobile et tous les échos stationnaires pourront être éliminés.

Plusieurs obstacles terrestres existent autour du RADAR et les échos du sol les plus proches sont produits par la zone industrielle de la ville de Sétif et Annaba. Au-delà de l'horizon, les obstacles terrestres produisent plusieurs échos parasites.

Pour le RADAR de Sétif, Par exemple, au sud-ouest, à 60 km du RADAR, on trouve les montagnes du Djurdjura qui atteignent, 2 300 m d'altitude. Au sud-est, à 40 km du radar, on rencontre les monts des Bibans avec 1 417 m de hauteur. Au nord-est, à une distance plus courte (environ 30 km), les monts des Babors s'élèvent à 2 004 m d'altitude.

➤ **Elaboration des échos fixes**

Pour éliminer les échos fixes, nous avons étudié l'état de région pendant la situation à ciel clair dans plusieurs jours. Alors, nous prenons la moyenne de ces images.

Le masque d'écho fixe représente les échos RADAR fixes qui sont permanents ou immobiles perçus par le RADAR d'Annaba et celui de Sétif. Ces derniers sont obtenus en concaténant plusieurs images. On note par ailleurs la perte de l'information dans ces zones, (puisque en éliminant les échos fixes, on détruit les échos RADAR qui se trouvent confondus ou superposés avec les échos fixes).

L'image obtenue de cette opération est restée la même pendant 2ans ou 3ans à savoir les changement de région (nouvelle construction). Les échos observés par situations de ciel clair sont automatiquement des échos fixes.

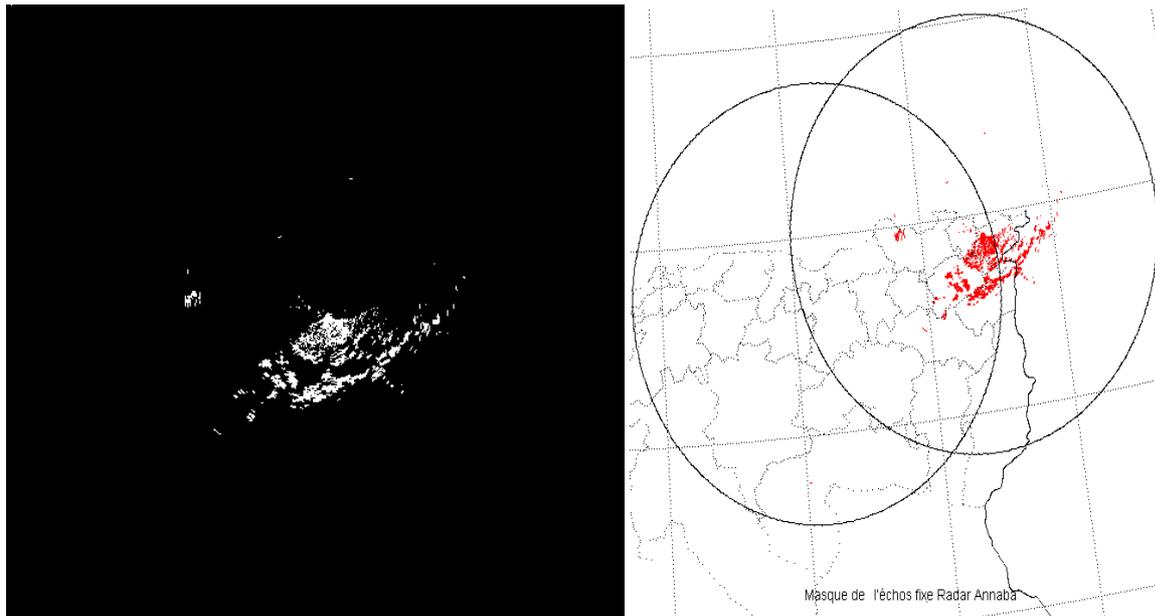


Figure3. 4:Masque de l'écho fixe de Annaba.

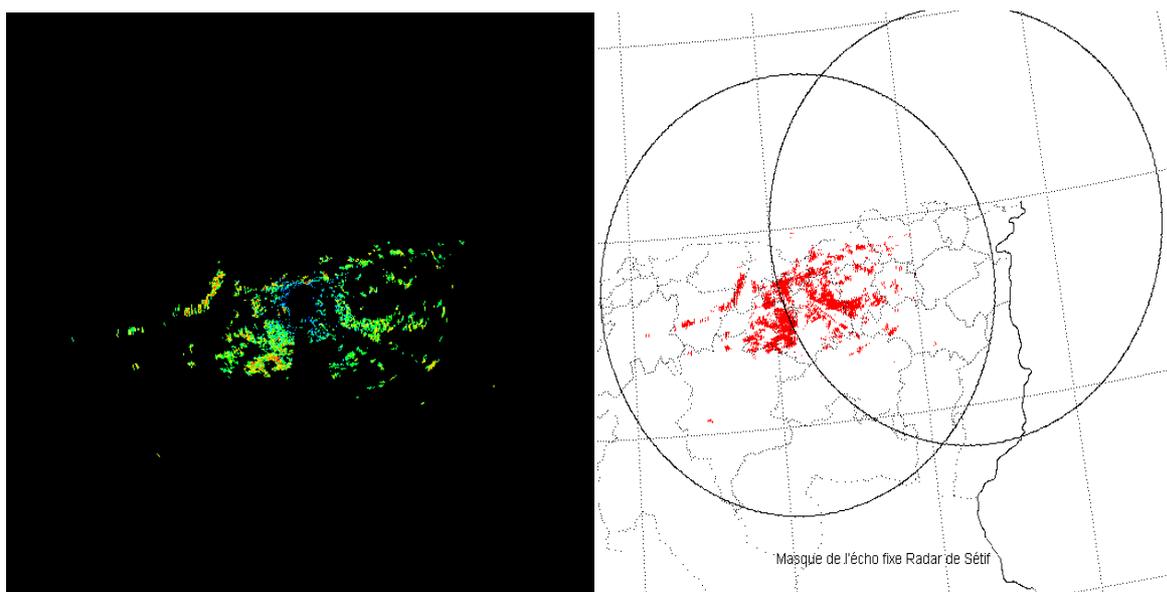


Figure3. 5:Masque écho fixe Sétif.

4.1.4. Masque global

Le masque global dans la figure ci-dessous a été utilisé pour la génération des images composites des RADARs de Sétif et celui d'Annaba.

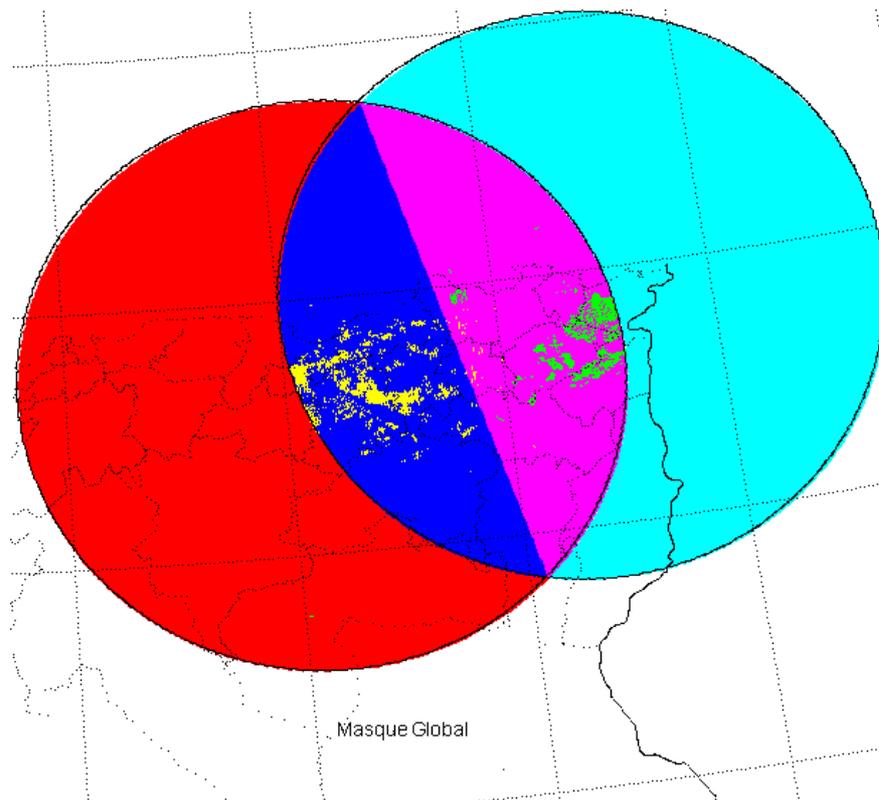
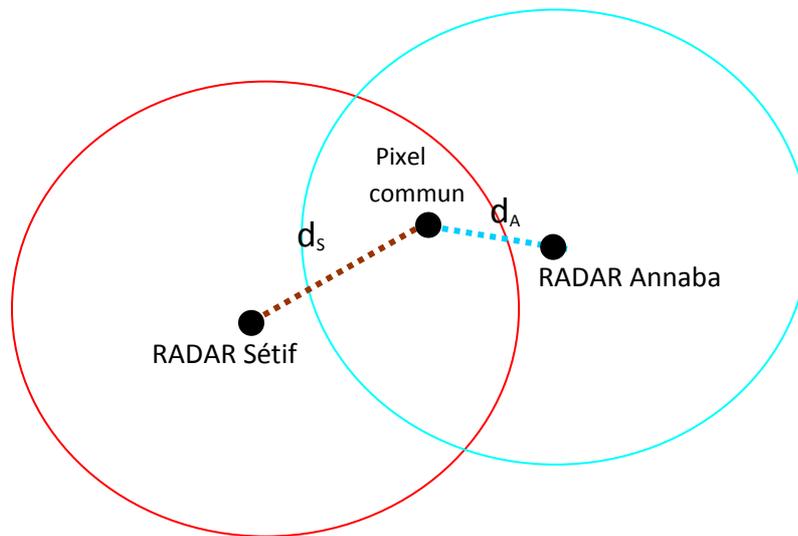


Figure3. 6:Masque global d'échos RADAR.

- Zone couverte par le RADAR de Sétif.
- Zone couverte par le RADAR d'Annaba.
- Zone d'intersection des deux radars, proche du RADAR de Sétif.
- Zone d'intersection des deux RADARs, proche du RADAR d'Annaba.
- Zone d'intersection proche du RADAR de Sétif (échos fixes) remplacés par les échos RADAR d'Annaba.
- Zone d'intersection proche du RADAR d'Annaba. (Échos fixes) remplacés par les échos RADAR de Sétif

Il existe plusieurs méthodes pour le choix des échos des zones d'intersection, on citera les méthodes :

- **Par l'écho le plus proche au RADAR** : on calcule la distance pixel du RADAR dans la zone d'intersection des deux RADARs, le pixel pris en considération dans l'image composite est celui qui est à distance (pixel-RADAR) minimale.



d_s : distance entre le pixel et le RADAR de Sétif.

d_A : distance entre le pixel et le RADAR de Annaba.

Figure3. 7:Méthode de choix de l'écho RADAR dans la zone.

Dans l'exemple de la Figure3.7, on prend le pixel du RADAR de Annaba ($d_A < d_s$).

- **par expérience (climatologie)** : Dans la zone d'intersection le pixel prend la valeur de l'écho le plus proche de la réalité (qui estime mieux le pixel commun).
- **Par la moyenne Pondérée par l'inverse distance** : dans cette méthode, le pixel dans la zone d'intersection représente la moyenne pondéré par l'inverse de la distance entre l'écho RADAR 1 et son correspondant RADAR 2, dans le cas ou on a deux RADARs.

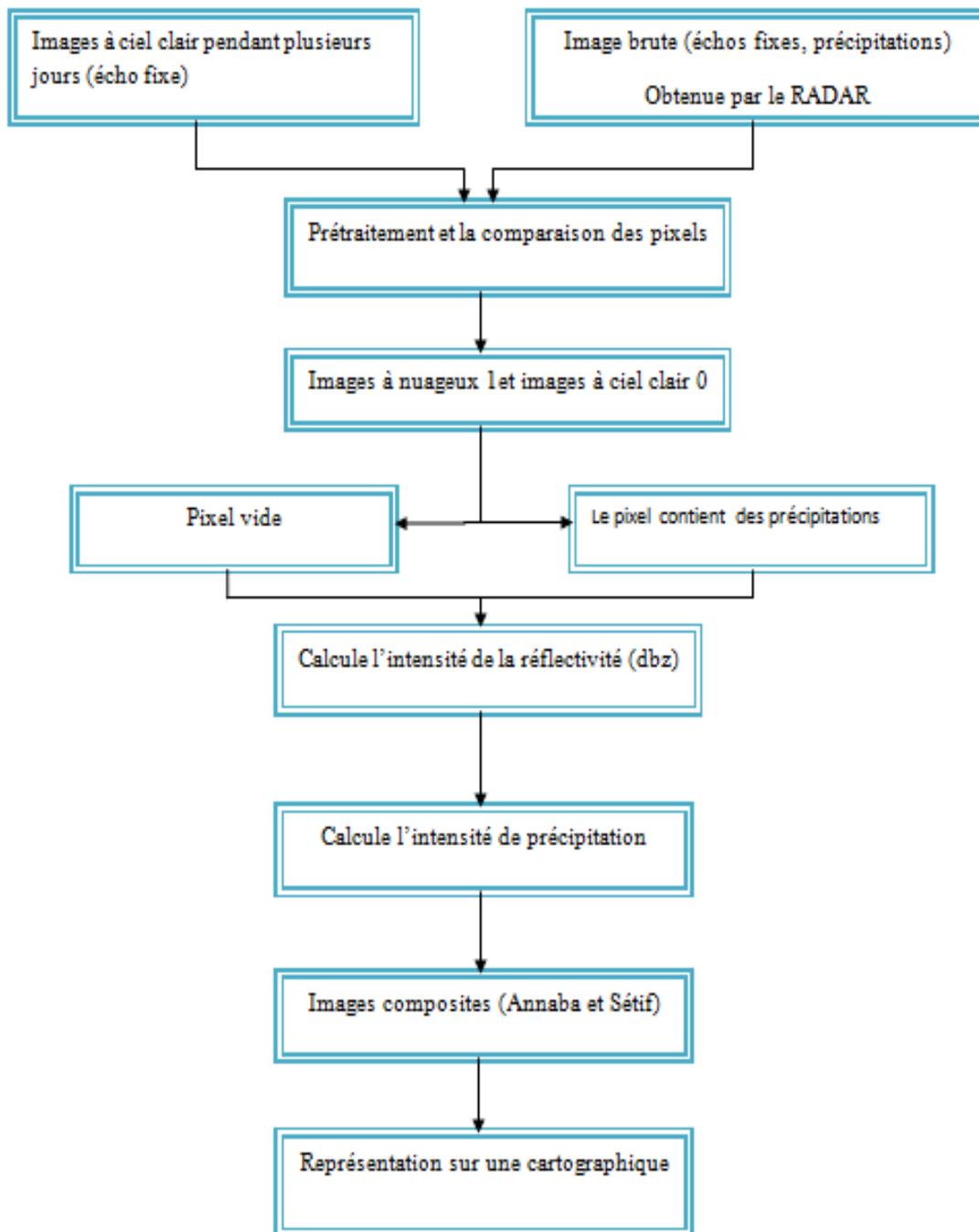


Figure3. 8:Organigramme de traitement d'image RADAR

4.1.5. Images composites

Les images RADAR individuels doivent être mises ensemble sur une même carte. Cette technique est la création d'une image composite où les deux images RADAR sont géoréférencées sur une même projection. Un algorithme spécifique est utilisé dans ce sens qui tient compte des zones d'intersection des deux RADARS.

Ci-dessous sont présentées quelques images composites illustrant la situation du 20 Avril.

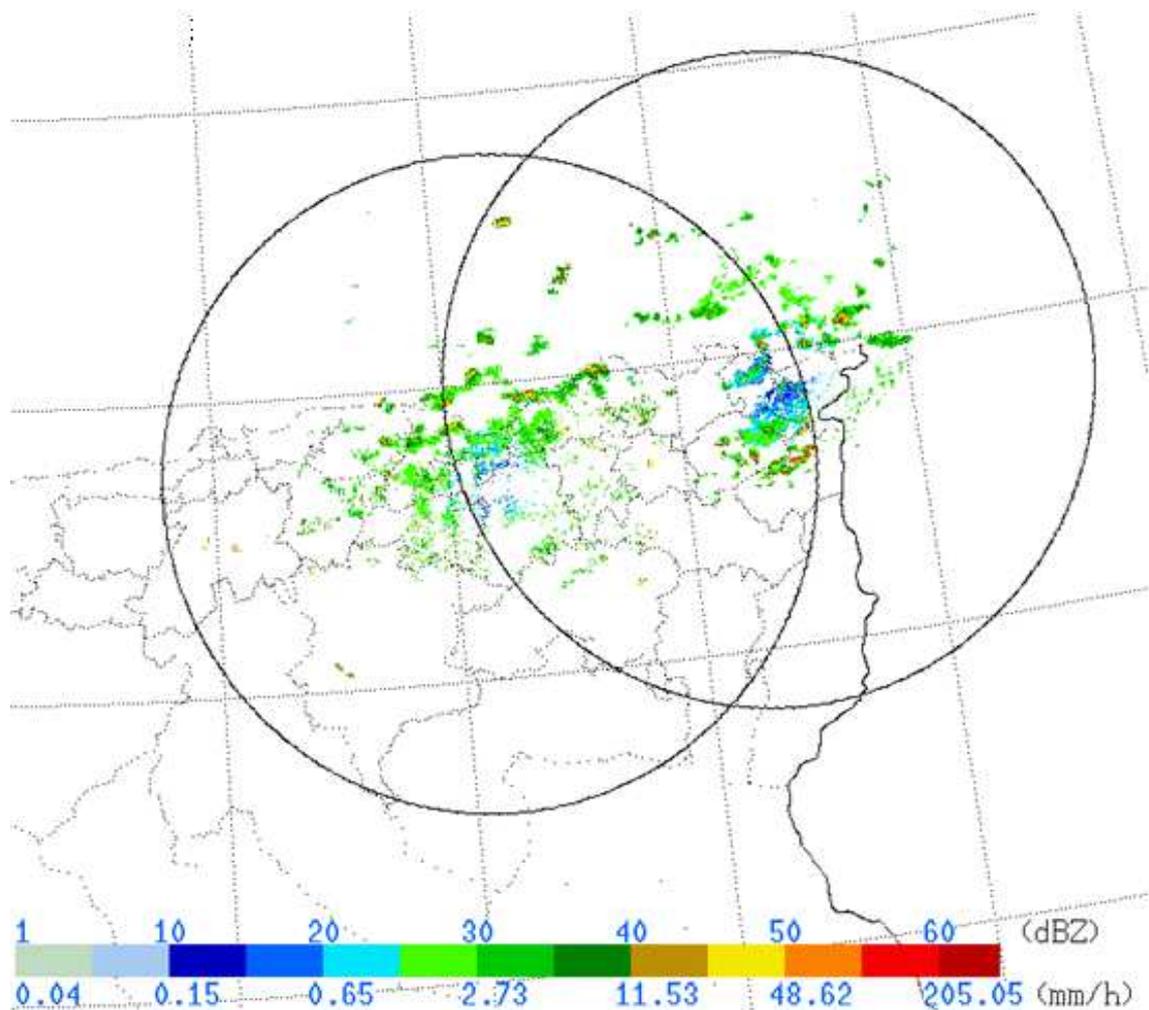


Figure3. 9:Image composite du 20/04/2016 à 09h00.

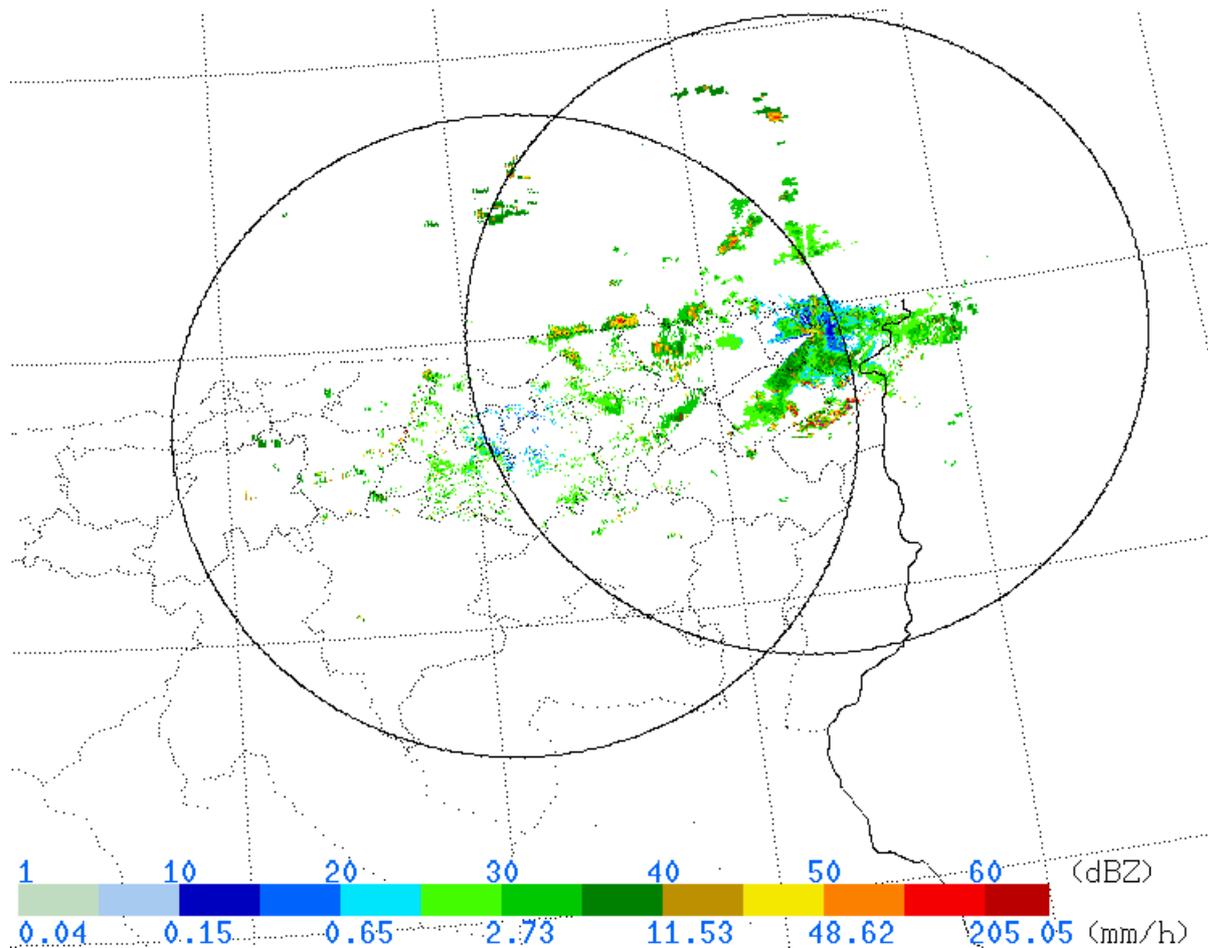


Figure3. 10:Image composite du 20/04/2016 à 18h00.

Les échos RADAR sont représentés par un ensemble de pixels de différentes couleurs correspondant aux couleurs de l'échelle d'intensité (en bas de l'image). Les chiffres en haut de l'échelle d'intensité représentent des unités de réflectivité (exprimées en dBZ), et les chiffres en bas représentent l'intensité correspondante des précipitations. Si les précipitations sont sous forme de neige, on corrèle la réflectivité avec les chutes de neige en centimètres par heures (cm/h). Si les précipitations sont sous forme de pluie, la corrélation de la réflectivité est faite avec la hauteur de la pluie en millimètres par heure (mm/h). Plus la valeur de la réflectivité est élevée, plus le taux de précipitations est élevé. A droite, les valeurs les plus élevées (rouge), à gauche en gris, bleu et bleu clair représentent le taux le plus bas. La réflectivité ne dépend pas des précipitations seulement mais aussi de la nature des précipitations (pluie, neige, grêle, grésil) et leur type (stratiforme, convective).

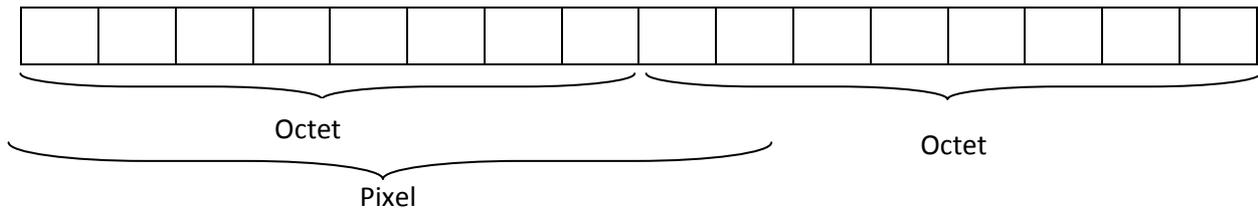
4.2. Traitement et exploitation des images MSG.

4.2.1. Image HRV

4.2.1.1. Format de l'image

Le satellite produit une image HRV d'une taille de 5568x11136 pixels codés sur 10 bits.

24 segments pour le canal visible à haute résolution (464 lignes de balayage de 11 136 pixels).



Le pixel est constitué de 10 bits et reste 6 bits sont perdue et peuvent utiliser pour envoyer d'autre informations.

Ceci est un exemple d'un groupe de segments formant une image dans le canal HRV de ce cycle d'acquisition de 12h00 TU pour le 30/04/2016.

H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000001__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000002__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000003__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000004__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000005__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000006__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000007__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000008__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000009__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000010__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000011__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000012__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000013__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000014__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000015__ -201604301200-C_

H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000016__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000017__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000018__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000019__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000020__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000021__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000022__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000023__ -201604301200-C_
H-000-MSG2__-MSG2_____HRV_____ -000024__ -201604301200-C_

4.2.1.2. Affichage de l'image

L'image a été créée à partir de 24 segments envoyée de MSG par la compression, nous allons appliquer un algorithme [25].

Cet algorithme permet d'afficher l'image satellitaire HRV (langage C) à partir de compte numérique. L'image obtenue est sous format PGM.

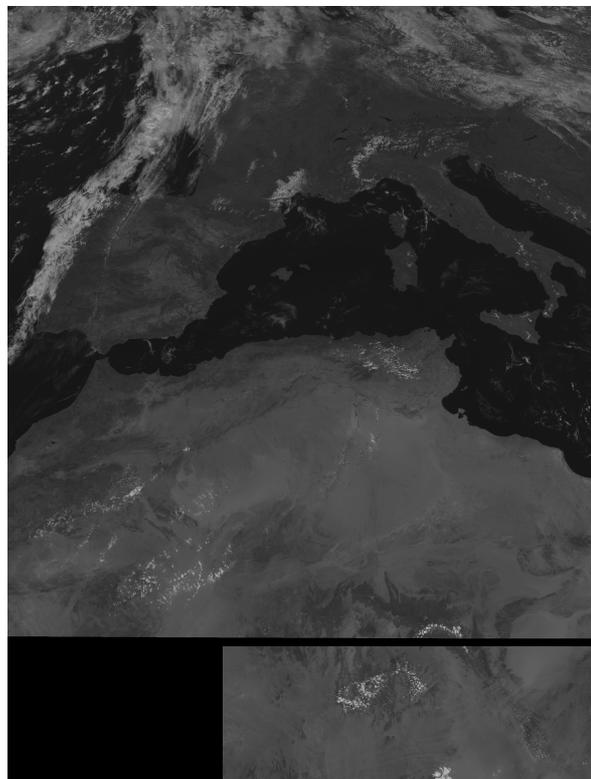


Figure3. 11:Image HRV à ciel nuageux.

Pour créer une image à ciel clair, nous avons besoin d'une série d'images prises à la même heure pour plusieurs jours. Généralement au bout de dix jours, l'image à ciel clair peut être élaborée pour certaines régions (basses latitudes), alors que pour d'autres régions, cet intervalle de temps n'est pas suffisant (latitudes élevées).

La création d'image à ciel clair se repose sur la technique de la brillance minimale enregistrée pour un pixel donné sur une période bien déterminée, sachant que les fortes valeurs numériques dans le visible correspondent aux brillances réfléchies par les nuages.

Les images suivantes représentent :

- Image à ciel clair dans le canal visible haute résolution (HRV) du satellite Météosat seconde génération.

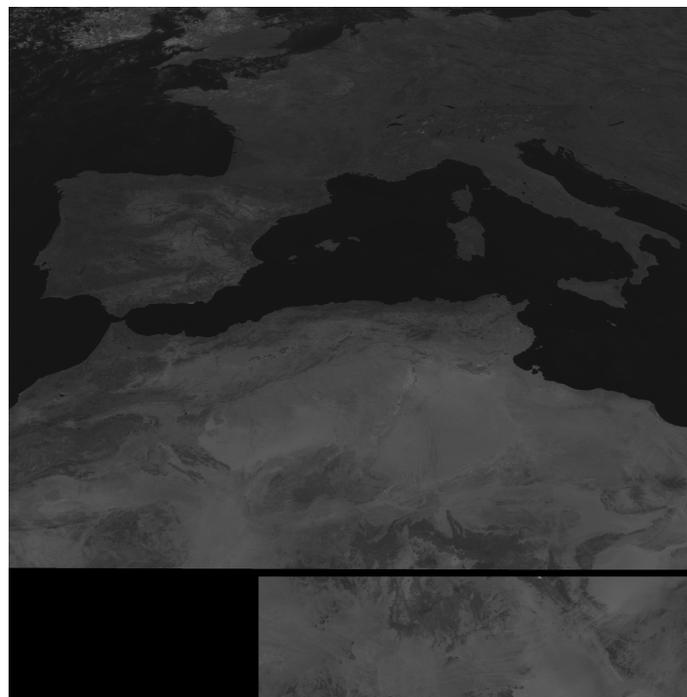


Figure3. 12: Image HRV à ciel clair

4.2.2. Présentation cartographique (Canaux IR, VIS0.6, VIS0.8 et NIR)

Le but de cette partie est de présenter les données physiques (température de brillance, réflectivité et l'indice de végétation) dans des cartes cartographiques.

Pour obtenir ces paramètres, nous aurons besoin des informations de compte numérique de six canaux infrarouges (3.9, 8.7, 9.7, 10.8, 12.0 et 13.4) pour la détection de température

de brillance et les canaux VIS0.6 ou VIS0.8 et NIR pour la détection de l'indice de végétation NDVI.

4.2.3. Radiation mesurée par le radiomètre

Les comptes numériques MSG appelés valeurs radiométriques sont codés sur dix bits (0,1023), peuvent être transformés en radiances physiques spectrale selon la relation de calibration linéaire [25]:

$$Rad = offset + slope \cdot Compte \quad (3.1)$$

Rad est la radiance spectrale mesurée par le capteur SEVIRI en $(mWm^{-2} sr^{-1} (cm^{-1})^{-1})$.

Offset et slope en $(mWm^{-2} sr^{-1} (cm^{-1})^{-1})$ sont les coefficients de régression linéaire extraits pour chaque canal SEVIRI du fichier Prologue transmis au début de chaque réception et compte est la valeur numérique (0 et 1023) mesurée réellement par le satellite et extraite du fichier image brute.

La radiation est un coefficient très évident de mesures de tous les paramètres physiques.

4.2.4. Extraction de paramètres physiques

4.2.4.1. Conversion de la Radiances en températures de brillances

Dans les produits dérivés MSG MPEF (Meteorological Products Extraction Facility), la relation analytique entre la température de brillance spectrale SEVIRI et la radiance est donnée par la relation suivante [25] :

$$T_b = \frac{1}{A} \left(\frac{c_2 \cdot V_c}{\log\left(\frac{c_1 \cdot v_c^3}{Rad} + 1\right)} - B \right) \quad (3.2)$$

$$c_1 = 1.19104 \cdot 10^{-5} mWm^{-2} sr^{-1} (cm^{-1})^{-4}$$

$$c_2 = 1.43877 K (cm^{-1})^{-1}$$

v_c est la fréquence centrale du canal.

Les constantes A et B pour chaque canal et sa fréquence centrale sont données dans le tableau 3.2.

Tableau3. 2: Longueur d'onde centrale et les paramètres A et B pour les huit canaux thermiques IR SEVIRI de MSG.

Canal No.	Canal ID	ν_c	A	B
04	IR3.9	2569.094	0.9959	3.471
05	WV6.2	1598.566	0.9963	2.219
06	WV7.3	1362.142	0.9991	0.485
07	IR8.7	1149.083	0.9996	0.181
08	IR9.7	1034.345	0.9999	0.060
09	IR10.8	930.659	0.9983	0.627
10	IR12.0	839.661	0.9988	0.397
11	IR13.4	752.381	0.9981	0.576

4.2.4.2. Conversion de la radiance en réflectance spectrale pour les canaux (VIS0.6, VIS0.8, NIR1.6 et HRV)

La conversion des radiances dans les quatre bandes visibles en réflectance spectrales se fait à l'aide de la formule (3.4) :

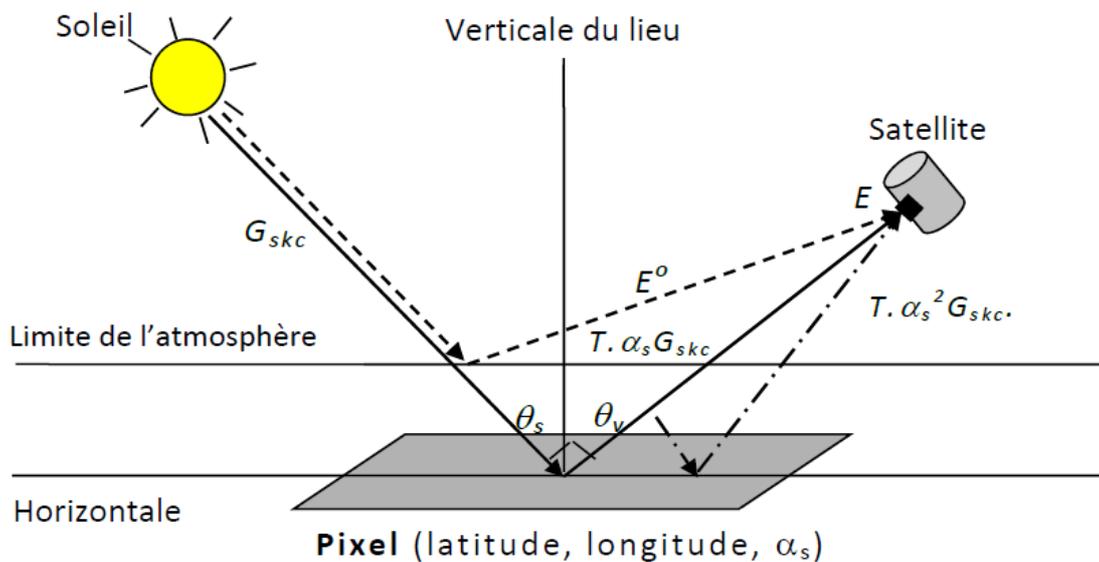


Figure3. 13:Modèle de transfert radiatif soleil-pixel-satellite.

Cette relation ne tient pas compte des effets d'absorption atmosphériques.

$$Ref(canal) = \frac{Rad(canal)}{TOARAD(canal) \cos \theta} \quad (3.3)$$

Chapitre4 Traitement et exploitation des images RADAR et MSG

Rad : est la réflectance pour le canal=1, 2, 3, 12.

1 = VIS0.6; 2 = VIS0.8; 3 = NIR1.6; 12 = HRV.

Rad est la radiance en ($\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}$) pour le canal=1, 2, 3, 12 calculée à l'aide la formule (3.1).

TOARAD : (Top Of Atmospher Radiance) est l'énergie solaire en ($\text{mWm}^{-2} \text{sr}^{-1} (\text{cm}^{-1})^{-1}$) à la limite de l'atmosphère pour les canaux (1, 2, 3, 12)

θ : est l'angle zénithale solaire.

Le calcul de la radiance à la limite supérieure de l'atmosphère dans les différentes bandes spectrales de l'imageur SEVIRI se fait de la manière suivante [25]:

$$\text{TOARAD (vis0.6)} = \frac{20.76}{\text{ESD}^2} \quad (3.4)$$

$$\text{TOARAD (vis0.8)} = \frac{23.24}{\text{ESD}^2} \quad (3.5)$$

$$\text{TOARAD (NIR1.6)} = \frac{19.85}{\text{ESD}^2} \quad (3.6)$$

$$\text{TOARAD (HRV)} = \frac{25.11}{\text{ESD}^2} \quad (3.7)$$

ESD est la distance Terre-Soleil (en unité Astronomique) en fonction du jour julien donnée par la relation suivante :

$$\text{ESD} = 1 - 0.0167 \cos\left(\frac{2\pi(\text{jour julien} - 3)}{356}\right) \quad (3.8)$$

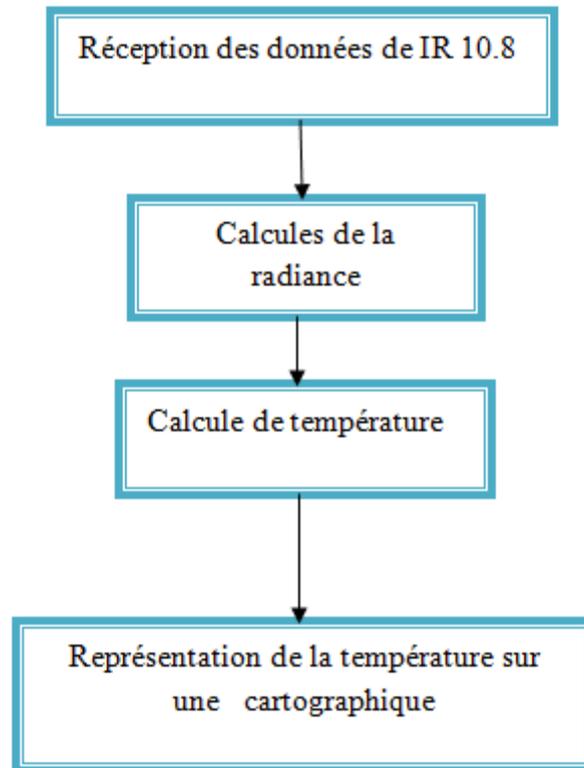


Figure3. 14:Organigramme de température de brillance.

➤ Affichage de l'image

L'image a été créée à partir de six canaux infrarouges IR de, nous allons appliquer un algorithme [25].

Cet algorithme (langage C) permet d'afficher les cartes à partir de compte numérique de six canaux infrarouges. Ces cartes obtenue est sous format PGM.

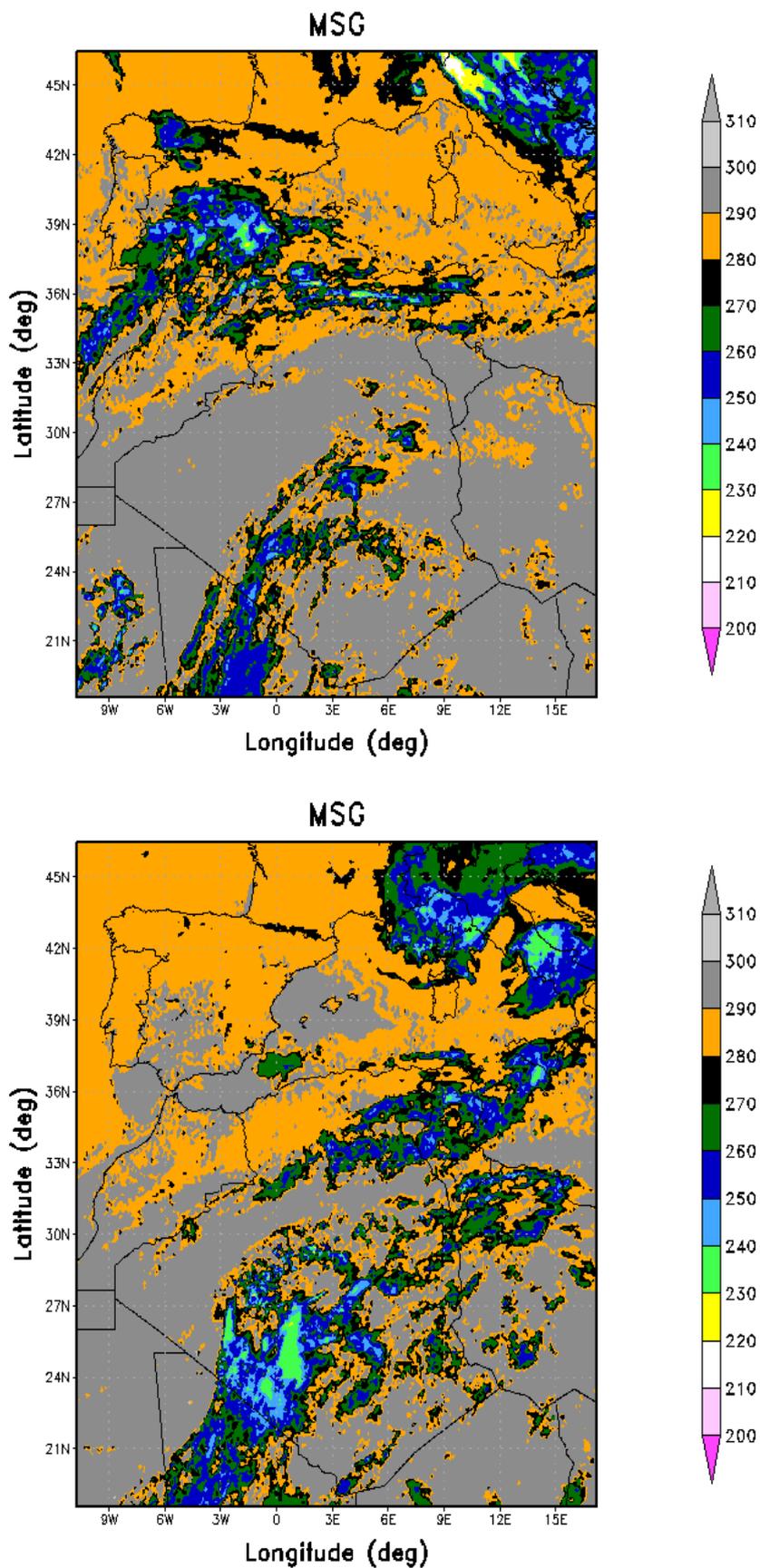


Figure3. 15 : La température de l'Algérie 30/04/2016.

L'analyse des graphiques de (figure3.15) montre bien que le satellite produise pratiquement des configurations spatiales de la température, notamment sur les régions du centre et de l'est de l'Algérie le jour de 30/04/2016.

4.2.4.3. Indice de végétation

L'indice de végétation est un indicateur de l'activité chlorophyllienne de la végétation, il varie entre 0 pour surface désertique et 1 pour les forêts denses. Sa formule est donnée par l'équation suivante comme différence entre les réflectances dans le visible et le proche infrarouge [25].

$$NDVI = \frac{R(NIR) - R(VIS)}{R(NIR) + R(VIS)} \quad (3.9)$$

Où $R(VIS)$ est la réflectance dans le canal visible $0.6\mu\text{m}$ et $R(NIR)$ est la réflectance dans le canal proche infrarouge $0.8\mu\text{m}$. Généralement cette formule utilisant la réflectance à limite de l'atmosphère est corrigée des effets d'absorption et de transmission atmosphérique.

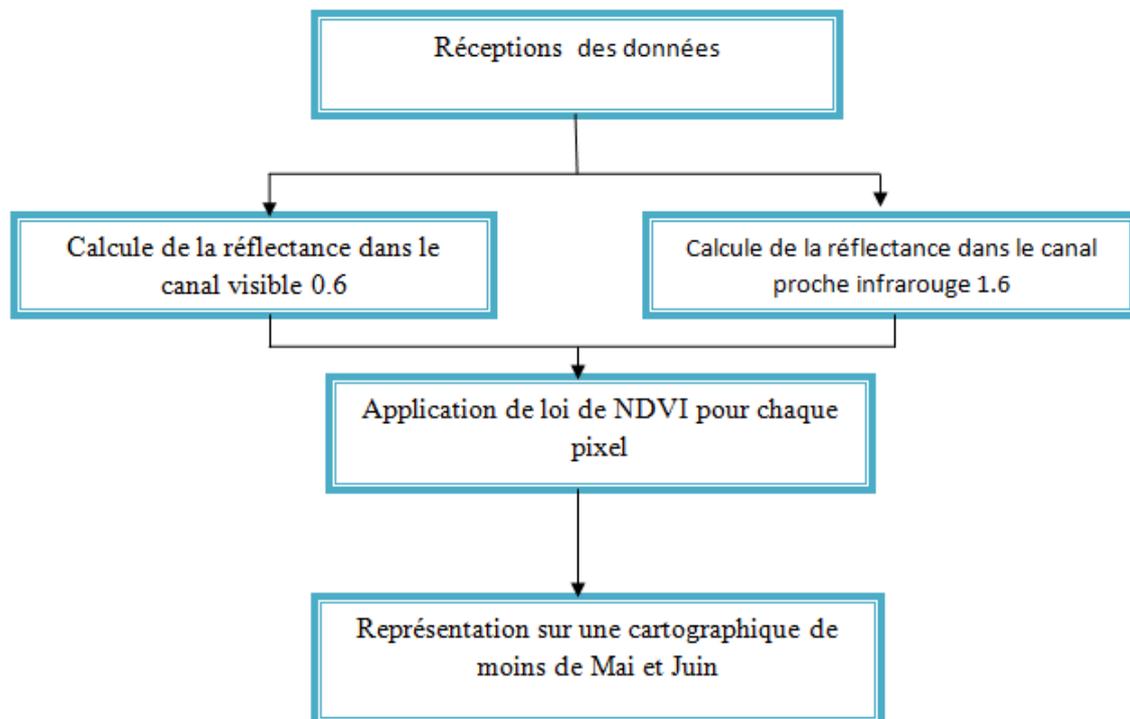


Figure3. 16: Organigramme de l'indice de végétation.

➤ Affichage de l'image

L'image a été créée à partir des canaux VIS (0.6) ou VIS (0.8) et NIR de, nous allons appliquer un programme (langage C) qui permet d'afficher les cartes à partir de compte numérique de VIS (0.6) et NIR. Ces cartes obtenue est sous format PGM.

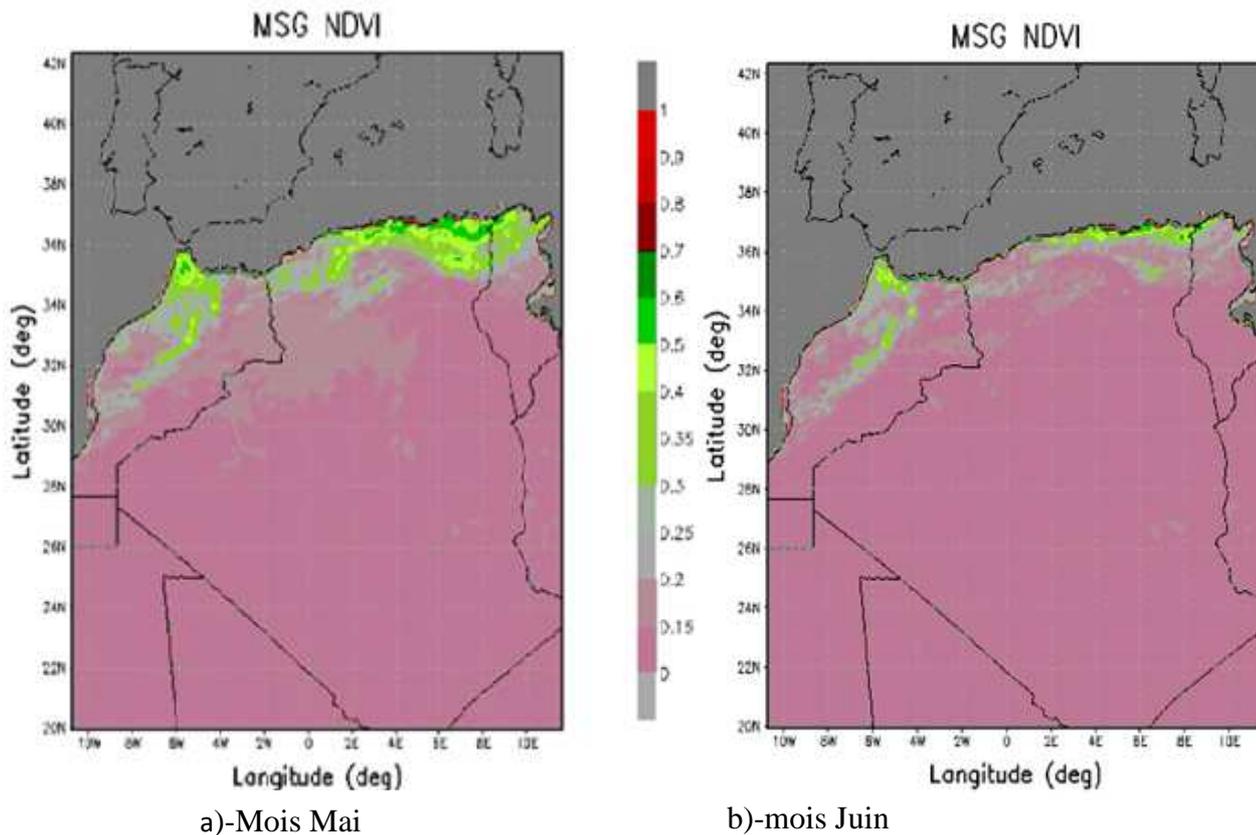


Figure3. 17:configuration spatiale de l'NDVI calculé à partir MSG pour :a)le mois mai et b) juin.

L'analyse des graphiques (figure 3.17) montre bien que le satellite reproduise pratiquement des configurations spatiales semblables du couvert végétal avec cependant une sous-estimation de l'activité végétale bien localisée notamment sur les régions du centre et de l'est de l'Algérie du mois de Mai juste à prés la fin de saison des pluies ou l'en observe un fort développement de la couverture végétale. Et au mois de juin ou l'en observe une faible couverture végétale.

Conclusion

L'étude que nous avons effectuée dans la première partie est la détection de précipitation par l'utilisation de traitement des images. Nous recommandons une mise à jour des cartes des échos fixes des deux RADARs. Pour le RADAR de Sétif nous recommandons aussi un déplacement sur un nouveau site.

La seconde partie est de traiter les canaux visibles et infrarouge leurs utilisations dans l'élaboration de certains paramètres physiques (température, réflectance, indice de végétation)

Nous avons utilisés des algorithmes de langage(C), pour le traitement d'image RADAR et satellitaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre étude, nous avons essayé de montrer l'utilité du traitement des images RADAR et satellitaire pour l'extraction de l'information physique qui peut aider l'utilisateur.

Le traitement des données RADAR en prévisions numérique est une technique très récente et ne date que de quelques années et aussi une étape très importante dans la chaîne d'assimilation complète des données RADAR. Elle nécessite un réseau RADAR assez performant, et des moyens logistiques importants. Dans cette étude, nous avons disposé alors d'une étude de visualiser de précipitations et éliminer des échos parasites en provenance de la surface terrestre.

Les images RADAR servent à visualiser les zones de précipitations, sans renseigner sur leur nature et leur état liquide ou solide, en temps réel. L'image RADAR est perturbée par des obstacles fixes comme les montagnes ou les constructions au voisinage immédiat de l'antenne. On détermine l'intensité de la précipitation par une couleur correspondant à des millimètres d'eau par heure.

Le RADAR météorologique reste un moyen d'observation de précipitations et une source d'informations incontournable. La nouvelle génération de RADAR doppler, permet d'avoir les composantes verticales et horizontales du vent (profil vertical), un champ important dans l'assimilation de données (partie dynamique) notamment pour le suivi du phénomène de convection à petite échelle à l'intérieur d'une cellule convective.

Avec les satellites Météosat Seconde Génération, la mission principale reste bien entendu toujours la même, à savoir, améliorer les prévisions météorologiques quotidiennes et anticiper les phénomènes violents

Plusieurs méthodes d'estimation météorologique par traitement des images satellitaires sont développées dès la mise en orbite des satellites Météosat.

Parmi elle, les méthodes physiques qui ont été élaborées en considérant principalement de la « radiance » dans le but de présenter les cartes cartographiques de température, réflectivité et l'indice de végétation à partir des canaux VIS0.6, VIS0.8 et NIR.

Nous avons aussi affiché l'image HRV à l'aide de leurs données numériques.

Conclusion générale

Les images MSG permettent de suivre les nuages à sommeil froid notamment pendant la saison d'été ou des orages très violents peuvent se développer l'après-midi pour donner de fortes précipitations donnant lieu à des inondations de certaines rivières qui traversent certaines villes. La lutte antiacridienne par le suivi du développement de la végétation saharienne qui peut être une source alimentaire.

Bibliographie

- [1] J.M.MONGET, Cours de télédétection, Volume 1, Centre de télédétection et d'analyse des milieux naturels, pp 1 – 10, (1986).
- [2] D.Ducrot Upscesbio, quelques bases sur les satellites, la télédétection.
- [3] L.Polidori. « Introduction à la télédétection spatiale ». Ecole supérieure des géomètres et topographes France, pp09.
- [4] O. Aissani., Thèse de magister, Modélisation du mesuré par le capteur du canal visible VISSR de METEOSAT7 pour l'estimation du rayonnement solaire global au sol, Université Mentouri de Constantine, (2004).
- [5] F.Cavayas, « Les images numériques de télédétection », Université de Montréal 2015.
- [6] K.Tadjerouni polycop (petites échelle) centre National des Techniques Spastiales (ARZEW-ORAN) 2002.
- [7] Mabioue K, Compte rendu de la visite à l'office national de la météorologie, Université Hassiba Benbouali de Chlef .
- [8] N.Hassini, B.Abderrahmani, A. Dobbi (2006). Tendances des précipitations et de la sécheresse sur le littoral algerien : impact sur les reserves hydriques, université d'es-sénia,pfe.
- [9] L.Halimi et A.Kessouri, thème prétraitement des données radar pour leur intégration pour la chaine d'assimilation, Institut Hydrométéorologiques de formation et de recherche 2007.
- [10] A.L.Mouillard, Dossier d'information sur le projet de radar météorologique à Saint Nizier du Moucheron Météo-France Direction Interrégionale Centre-Est, Avril 2013.
- [11] Ch.Wolf et P.Vaillant, Radar tutorial-PP 11(2001).
- [12] Ch.Wolf -traduction et révision- P.vaillant -GNU- Free documentation.
- [13] D.Ducrot Upscesbio, quelques bases sur les satellites, la télédétection.
- [14] O.Diop, détection de nuage de poussières dans les images Météosat à l'aide des attributs de textures et de la fusion de segmentation : application à la zone sahéenne du continent africain-2007 [thèse doctorat].

- [15] D.Renaut. Les satellites météorologiques-météo_france-direction commercial et de communication, la météorologie n:45, PP 33-37. France 2004.
- [16]M.Gillet : les nouveaux programmes Européens de satellites météorologiques,
La Météorologie 8e série - n° 11 - septembre 1995, pp13.
- [17]J.Scmetz, P.Pili, S.Tjemkes, D.Just, J.Kermann et A.Ratier, An introduction to meteosat second generation (MSG) Amerecain meteorological society July 2002.
- [18]F.Meziani, Détermination de segment solaire par traitement d'image MSG.
- [19]J.Schmets, P.Tjemkes, D.Just, J.Kman, S.Rota and A.Ratier , "An introduction to meteosat second generation MSG". Article American meteorological society PP977-992 (2002).
- [20]Meteosat second generation, Data collection and transmission service, EUM TD 09-Issae1.1, 26june 2006.
- [21]A.Ammadi et M.Baslam.'Détection automatique des phénomènes présents dans une image satellitaire en composants colorée, Mémoire de master en informatique, télécommunication et imagerie, université de Mohammed V-Agdal, Rayaumes du Maroc 2008.
- [22]Document officiel du capture SEVIRI embarqué sur les satellites MSG,
<http://eduscol.education.fr/orbite /systems/meteosat/met23.htm>.
- [23] AM Cohen and HL. Resnikoff , " Image Compression for Radiology and Telemedicine ",Proc. SPIE 2298, SPIE, Bellingham, Wash., pp. 304-315, 1994.
- [24] C.Wagner, " De l'image vers la compression ", Rapport de Recherche de l'INRIA, n°2035, ISSN 0249-6399, p. 38, Septembre 1993.
- [25]A.Rezagui. Thèse doctorat« Développement d'une méthodologie pour l'exploitation des images MSG pour le suivi des paramètres physiques du sol et la prévision météorologique» ,2012/2013